

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/001207

International filing date: 28 January 2005 (28.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2004-024722  
Filing date: 30 January 2004 (30.01.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 10 March 2005 (10.03.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

17.2.2005

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 4 年   1 月 3 0 日  
Date of Application:

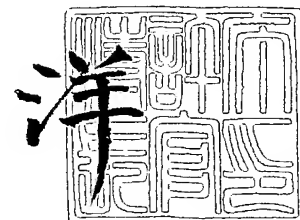
出 願 番 号            特 願 2 0 0 4 - 0 2 4 7 2 2  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 4 - 0 2 4 7 . 2 2 ]

出      願      人            日 本 電 気 株 式 有 限 公 司  
Applicant(s):

2 0 0 5 年   1 月   7 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願  
【整理番号】 34002354  
【提出日】 平成16年 1月30日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 H01L 29/78  
【発明者】 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内  
【住所又は居所】 黄 俐昭  
【氏名】  
【発明者】 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内  
【住所又は居所】 田中 克彦  
【氏名】  
【発明者】 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内  
【住所又は居所】 竹内 潔  
【氏名】  
【特許出願人】 000004237  
【識別番号】 日本電気株式会社  
【氏名又は名称】  
【代理人】 100123788  
【識別番号】  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 宮崎 昭夫  
【電話番号】 03-3585-1882  
【選任した代理人】 100088328  
【識別番号】  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 金田 暢之  
【選任した代理人】 100106297  
【識別番号】  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 伊藤 克博  
【選任した代理人】 100106138  
【識別番号】  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 石橋 政幸  
【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 201087  
【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】 特許請求の範囲 1  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1  
【物件名】  
【包括委任状番号】 0304683

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

基体平面から上方に突起した半導体層と、この半導体層の両側面上に設けられたゲート電極と、このゲート電極と前記半導体層の側面の間に介在するゲート絶縁膜と、前記半導体層に第 1 導電型不純物が導入されたソース／ドレイン領域とを有し、

前記半導体層は、前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分にチャネル形成領域を有し、このチャネル形成領域における半導体層上部には、その下方部分より第 2 導電型不純物濃度が高いチャネル不純物濃度調整領域を有し、

このチャネル不純物濃度調整領域は、前記ゲート電極に信号電圧を印加した動作状態において、当該チャネル不純物濃度調整領域における半導体層の前記ゲート絶縁膜に相対する側面部分にチャネルが形成されることを特徴とする電界効果型トランジスタ。

**【請求項 2】**

基体平面から上方に突起した半導体層と、この半導体層を跨ぐようにその上部から相対する両側面上に延在するゲート電極と、このゲート電極と前記半導体層の間に介在するゲート絶縁膜と、前記半導体層に第 1 導電型不純物が導入されたソース／ドレイン領域とを有し、

前記半導体層は、前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分にチャネル形成領域を有し、このチャネル形成領域における半導体層上部には、その下方部分より第 2 導電型不純物濃度が高いチャネル不純物濃度調整領域を有し、

このチャネル不純物濃度調整領域は、前記ゲート電極に信号電圧を印加した動作状態において、当該チャネル不純物濃度調整領域における半導体層の前記ゲート絶縁膜に相対する上面および側面部分にチャネルが形成されることを特徴とする電界効果型トランジスタ。

**【請求項 3】**

前記チャネル不純物濃度調整領域は、当該半導体層の下方部分の第 2 導電型不純物濃度と同じ濃度を半導体層上部に有するときに、

n チャネルトランジスタの場合は当該半導体層上部のコーナー部で上昇する電位を低減できる、

p チャネルトランジスタの場合は当該半導体層上部のコーナー部での電位低下を縮小できる、

不純物濃度を有する請求項 1 又は 2 に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 4】**

n チャネルトランジスタの場合は当該半導体層上部のコーナー部で上昇する電位を 60 mV 以上縮小できる、

p チャネルトランジスタの場合は当該半導体層上部のコーナー部での電位低下を 60 mV 以上縮小できる、

不純物濃度を有する請求項 1、2 又は 3 に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 5】**

前記チャネル不純物濃度調整領域における第 2 導電型のネット不純物濃度の平均値が、当該チャネル不純物濃度調整領域の下方の他の領域における第 2 導電型のネット不純物濃度の平均値の 1.3 倍以上 4 倍以下の範囲にある請求項 1～4 のいずれか一項に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 6】**

前記チャネル不純物濃度調整領域における第 2 導電型のネット不純物濃度の平均値が、当該チャネル不純物濃度調整領域の下方の他の領域における第 2 導電型のネット不純物濃度の平均値の 1.5 倍以上 3 倍以下の範囲にある請求項 1～4 のいずれか一項に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 7】**

前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の上端から下方への深さ  $H_{top}$  が、基体平面に平行かつチャネル長方向に垂直な当該半導体層の幅  $W_{fin}$  の 0.7 倍以下であ



る請求項 1～6 のいずれか 1 項に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項 8】

前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の上端から下方への深さ  $H_{top}$  が、基体平面に平行かつチャネル長方向に垂直な当該半導体層の幅  $W_{fin}$  の  $7/40$  倍以上である請求項 1～7 のいずれか 1 項に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項 9】

前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の上端から下方への深さ  $H_{top}$  が  $5 \sim 24.5 \text{ nm}$  の範囲にある請求項 1～8 のいずれか 1 項に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項 10】

前記チャネル形成領域のうち前記チャネル不純物濃度調整領域を除いたその他の領域における第 2 導電型のネット不純物濃度の平均値が  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以上である請求項 1～9 のいずれか一項に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項 11】

前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記チャネル形成領域における半導体層上部において基体平面と平行な面内方向全体にわたって設けられている請求項 1～10 のいずれか一項に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項 12】

前記チャネル不純物濃度調整領域として、前記チャネル形成領域における半導体層上部において、当該半導体層のコーナー部の少なくとも一部を含むように当該チャネル不純物濃度調整領域を有し、さらに当該チャネル不純物濃度調整領域を含む基体平面に平行な断面において当該チャネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つ請求項 1～10 のいずれか一項に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項 13】

前記チャネル形成領域における半導体層の上部において、一方のコーナー部を含み一対のソース／ドレイン領域間を結ぶようにチャネル長方向に沿って連続して設けられた第 1 チャネル不純物濃度調整領域と、他方のコーナー部を含み一対のソース／ドレイン領域間を結ぶようにチャネル長方向に沿って連続して設けられた第 2 チャネル不純物濃度調整領域とを有し、さらに第 1 チャネル不純物濃度調整領域と第 2 チャネル不純物濃度調整領域の間にこれらを互いに分離するように一対のソース／ドレイン領域間にわたってこれらチャネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つ請求項 12 に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項 14】

前記チャネル形成領域における半導体層の上部において、一方のソース／ドレイン領域に接するように一方のコーナー部から他方のコーナー部にかけて連続して設けられた第 1 チャネル不純物濃度調整領域と、他方のソース／ドレイン領域に接するように一方のコーナー部から他方のコーナー部にかけて連続して設けられた第 2 チャネル不純物濃度調整領域とを有し、さらに第 1 チャネル不純物濃度調整領域と第 2 チャネル不純物濃度調整領域の間にこれらを互いに分離するように一対のコーナー部間にわたってこれらチャネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つ請求項 12 に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項 15】

前記チャネル形成領域における半導体層の上部において、一方のソース／ドレイン領域に接するように一方のコーナー部から他方のコーナー部にかけて連続して設けられたチャネル不純物濃度調整領域を有し、

前記チャネル不純物濃度調整領域と他方のソース／ドレイン領域との間にはチャネル不純物濃度調整領域を有しない請求項 12 に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項 16】

前記チャネル形成領域における半導体層の上部において、一方のソース／ドレイン領域に接し第 1 のコーナー部の一部を含む第 1 チャネル不純物濃度調整領域と、他方のソース／ドレイン領域に接し第 1 のコーナー部の一部を含む第 2 チャネル不純物濃度調整領域と

、一方のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部に対向する第2のコーナー部の一部を含む第3チャンネル不純物濃度調整領域と、他方のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部に対向する第2のコーナー部の一部を含む第4チャンネル不純物濃度調整領域とを有し、さらにこれらのチャンネル不純物濃度調整領域が互いに分離するように一对のソース／ドレイン領域間および一对の第1／第2コーナー部間にわたってこれらチャンネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つ請求項12に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項17】

前記チャンネル形成領域における半導体層の上部において、第一のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部の一部を含む第1チャンネル不純物濃度調整領域と、前記第一のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部に対向する第2のコーナー部の一部を含む第2チャンネル不純物濃度調整領域を有し、

前記第1チャンネル不純物濃度調整領域と前記第2チャンネル不純物濃度調整領域との間には、チャンネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持ち、

第一のソース／ドレイン領域に対向する第二のソース／ドレイン領域の近傍にはチャンネル不純物濃度調整領域を有しないことを特徴とする、請求項12に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項18】

基体平面から上方に突起した半導体層と、この半導体層の両側面上に設けられたゲート電極と、このゲート電極と前記半導体層の側面の間に介在するゲート絶縁膜と、前記半導体層に第1導電型不純物が導入されたソース／ドレイン領域とを有し、

前記半導体層は、前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分にチャンネル形成領域を有し、当該ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層上部において、その下方部分より第2導電型不純物濃度が高いチャンネル不純物濃度調整領域を当該半導体層のコーナー部の少なくとも一部を含むように有し、さらに当該チャンネル不純物濃度調整領域を含む基体平面に平行な断面において当該チャンネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つことを特徴とする不純物濃度を有する電界効果型トランジスタ。

【請求項19】

基体平面から上方に突起した半導体層と、この半導体層を跨ぐようにその上部から相対する両側面上に延在するゲート電極と、このゲート電極と前記半導体層の間に介在するゲート絶縁膜と、前記半導体層に第1導電型不純物が導入されたソース／ドレイン領域とを有し、

前記半導体層は、前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分にチャンネル形成領域を有し、当該ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層上部において、その下方部分より第2導電型不純物濃度が高いチャンネル不純物濃度調整領域を当該半導体層のコーナー部の少なくとも一部を含むように有し、さらに当該チャンネル不純物濃度調整領域を含む基体平面に平行な断面において当該チャンネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つことを特徴とする不純物濃度を有する電界効果型トランジスタ。

【請求項20】

前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層の上部において、一方のコーナー部を含み一对のソース／ドレイン領域間を結ぶようにチャンネル長方向に沿って連続して設けられた第1チャンネル不純物濃度調整領域と、他方のコーナー部を含み一对のソース／ドレイン領域間を結ぶようにチャンネル長方向に沿って連続して設けられた第2チャンネル不純物濃度調整領域とを有し、さらに第1チャンネル不純物濃度調整領域と第2チャンネル不純物濃度調整領域の間にこれらを互いに分離するように一对のソース／ドレイン領域間にわたってこれらチャンネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つ請求項18又は19に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項21】

前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層の上部において、一方のソース／ドレイン領域に接するように一方のコーナー部から他方のコーナー部にかけて連続して設けられた第1チャンネル不純物濃度調整領域と、他方のソース／ドレイン領域に接す

るよう一方のコーナー部から他方のコーナー部にかけて連続して設けられた第2チャネル不純物濃度調整領域とを有し、さらに第1チャネル不純物濃度調整領域と第2チャネル不純物濃度調整領域の間にこれらを互いに分離するように一对のコーナー部間にわたってこれらチャネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つ請求項18又は19に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項22】

前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層の上部において、一方のソース／ドレイン領域に接するように一方のコーナー部から他方のコーナー部にかけて連続して設けられたチャネル不純物濃度調整領域を有し、

前記チャネル不純物濃度調整領域と他方のソース／ドレイン領域との間にはチャネル不純物濃度調整領域を有しない、請求項18又は19に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項23】

前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層の上部において、一方のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部の一部を含む第1チャネル不純物濃度調整領域と、他方のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部の一部を含む第2チャネル不純物濃度調整領域と、一方のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部に対向する第2のコーナー部の一部を含む第3チャネル不純物濃度調整領域と、他方のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部に対向する第2のコーナー部の一部を含む第4チャネル不純物濃度調整領域とを有し、さらにこれらのチャネル不純物濃度調整領域が互いに分離するように一对のソース／ドレイン領域間および一对の第1／第2コーナー部間にわたってこれらチャネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つ請求項18又は19に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項24】

前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層の上部において、第一のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部の一部を含む第1チャネル不純物濃度調整領域と、前記第一のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部に対向する第2のコーナー部の一部を含む第2チャネル不純物濃度調整領域を有し、

前記第1チャネル不純物濃度調整領域と前記第2チャネル不純物濃度調整領域との間には、チャネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持ち、

第一のソース／ドレイン領域に対向する第二のソース／ドレイン領域の近傍にはチャネル不純物濃度調整領域を有しないことを特徴とする、請求項18又は19に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項25】

前記チャネル不純物濃度調整領域は、当該チャネル不純物濃度調整領域を含む基体平面に垂直な断面において、当該チャネル不純物濃度調整領域の第2導電型のネット不純物濃度の平均値が、当該チャネル不純物濃度調整領域の下方の他の領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値の1.3倍以上4倍以下の範囲にある請求項18又は19に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項26】

前記チャネル不純物濃度調整領域は、当該チャネル不純物濃度調整領域を含む基体平面に垂直な断面において、当該チャネル不純物濃度調整領域の第2導電型のネット不純物濃度の平均値が、当該チャネル不純物濃度調整領域の下方の他の領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値の1.5倍以上3倍以下の範囲にある請求項18又は19に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項27】

前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分の半導体層における基体平面に垂直な線上において、当該チャネル不純物濃度調整領域の第2導電型のネット不純物濃度の平均値が、当該チャネル不純物濃度調整領域の下方の他の領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値の1.3倍以上4倍以下の範囲にある濃度分布を有する請求項18又は19に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 28】**

前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分の半導体層における基体平面に垂直な線上において、当該チャネル不純物濃度調整領域の第2導電型のネット不純物濃度の平均値が、当該チャネル不純物濃度調整領域の下方の他の領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値の1.5倍以上3倍以下の範囲にある濃度分布を有する請求項18又は19に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 29】**

前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の上端から下方への深さ $H_{top}$ が、基体平面に平行かつチャネル長方向に垂直な当該半導体層の幅 $W_{fin}$ の0.7倍以下である請求項18～28のいずれか1項に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 30】**

前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の上端から下方への深さ $H_{top}$ が、基体平面に平行かつチャネル長方向に垂直な当該半導体層の幅 $W_{fin}$ の7/40倍以上である請求項18～28のいずれか1項に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 31】**

前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の上端から下方への深さ $H_{top}$ が5～24.5 nmの範囲にある請求項18～28のいずれか1項に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 32】**

前記チャネル形成領域のうち前記チャネル不純物濃度調整領域を除いたその他の領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である請求項18～31のいずれか一項に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 33】**

前記半導体層は、当該半導体層上部に設けられた前記チャネル不純物濃度調整領域である上部チャネル不純物濃度調整領域と、この上部チャネル不純物濃度調整領域の下方に設けられた、上部チャネル不純物濃度調整領域より第2導電型不純物濃度が低い中部チャネル形成領域と、この中部チャネル形成領域下方の半導体層下部に設けられた、中部チャネル形成領域より第2導電型不純物濃度が高い下部チャネル不純物濃度調整領域とを有する請求項1、2、18又は19に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 34】**

前記下部チャネル不純物濃度調整領域は、前記ゲート電極に信号電圧を印加した動作状態において、当該下部チャネル不純物濃度調整領域における半導体層の前記ゲート絶縁膜に相対する側面部分にチャネルが形成される請求項33に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 35】**

前記下部チャネル不純物濃度調整領域は、前記中部チャネル形成領域の第2導電型不純物濃度と同じ濃度を半導体層下部に有するときに当該半導体層下部のコーナー部で上昇する電位を低減できる不純物濃度を有する請求項33又は34に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 36】**

前記下部チャネル不純物濃度調整領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値が、前記中部チャネル形成領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値の1.3倍以上4倍以下である請求項33、34又は35に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 37】**

前記上部チャネル不純物濃度調整領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値が、前記中部チャネル形成領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値の1.3倍以上4倍以下である請求項36に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 38】**

前記下部チャネル不純物濃度調整領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値が、前記中部チャネル領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値の1.5倍以

上3倍以下である請求項33、34又は35に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項39】

前記上部チャネル不純物濃度調整領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値が、前記中部チャネル領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値の1.5倍以上3倍以下である請求項38に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項40】

前記下部チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の下端から上方への高さ $H_{top2}$ が、基体平面に平行かつチャネル長方向に垂直な前記半導体層の幅 $W_{fin}$ の0.7倍以下である請求項33～39のいずれか一項に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項41】

前記上部チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の下端から上方への高さ $H_{top2}$ が、基体平面に平行かつチャネル長方向に垂直な前記半導体層の幅 $W_{fin}$ の0.7倍以下である請求項40に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項42】

前記下部チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の下端から上方への高さ $H_{top2}$ が、基体平面に平行かつチャネル長方向に垂直な当該半導体層の幅 $W_{fin}$ の $7/40$ 倍以上である請求項33～40のいずれか1項に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項43】

前記上部チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の下端から上方への高さ $H_{top2}$ が、基体平面に平行かつチャネル長方向に垂直な当該半導体層の幅 $W_{fin}$ の $7/40$ 倍以上である請求項42に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項44】

前記下部チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の下端から上方への高さ $H_{top2}$ が $5 \sim 24.5 \text{ nm}$ の範囲にある請求項33～43のいずれか1項に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項45】

前記上部チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の下端から上方への高さ $H_{top2}$ が $5 \sim 24.5 \text{ nm}$ の範囲にある請求項44に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項46】

前記下部チャネル不純物濃度調整領域は、前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層下部において基体平面と平行な面内方向全体にわたって設けられている請求項33～45のいずれか一項に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項47】

前記下部チャネル不純物濃度調整領域として、前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層下部において、当該半導体層のコーナー部の少なくとも一部を含むように当該チャネル不純物濃度調整領域を有し、さらに当該下部チャネル不純物濃度調整領域を含む基体平面に平行な断面において当該下部チャネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つ請求項33～45のいずれか一項に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項48】

前記チャネル形成領域のうち前記上部チャネル不純物濃度調整領域と前記下部チャネル不純物濃度調整領域を除いたその他の領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である請求項33～47のいずれか一項に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項49】

前記半導体層の上部と前記ゲート電極との間に、当該半導体層の上面にチャネルが形成されないように前記ゲート絶縁膜よりも厚いキャップ絶縁膜が設けられた請求項1又は18に記載の電界効果型トランジスタ。

【請求項50】

前記の突起した半導体層の下には支持基板を有し、当該半導体層はこの支持基板と一体に接続している請求項1～49のいずれか一項に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 51】**

前記の突起した半導体層の下には支持基板を有し、当該半導体層はこの支持基板上に埋め込み絶縁膜を介して設けられている請求項 1～49 のいずれか一項に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 52】**

前記チャネル形成領域のうち前記チャネル不純物濃度調整領域を除いた領域において、半導体層側面の電位が半導体層中心部の電位に対して、n チャネルトランジスタの場合は 120 mV 以上上昇し、p チャネルトランジスタの場合は 120 mV 以上低下していることを特徴とする、請求項 1～51 のいずれか一項に記載の電界効果型トランジスタ。

**【請求項 53】**

請求項 1 又 2 に記載の電界効果型トランジスタの製造方法であって、半導体層をパターニングして基体平面から突起した半導体層を形成する工程と、この突起した半導体層を跨ぐように絶縁膜を介してゲート電極を形成する工程と、このゲート電極をマスクとして当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第 2 導電型不純物のイオン注入を行い、当該ゲート電極下の半導体層の上部にチャネル不純物濃度調整領域を形成する工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

**【請求項 54】**

ゲート電極をマスクとして当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第 2 導電型不純物のイオン注入を行う工程において、前記イオン注入を基体平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対して 10 度以内の角度で行うことを特徴とする請求項 53 に記載の電界効果型トランジスタの製造方法。

**【請求項 55】**

ゲート電極をマスクとして当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第 2 導電型不純物のイオン注入を行う工程において、前記イオン注入を基体平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対して平行に行うことを特徴とする請求項 53 に記載の電界効果型トランジスタの製造方法。

**【請求項 56】**

請求項 1 又は 2 に記載の電界効果型トランジスタの製造方法であって、半導体層をパターニングして基体平面から突起した半導体層を形成する工程と、この突起した半導体層を跨ぐように絶縁膜を介してゲート電極を形成する工程と、前記ゲート電極をマスクとして当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第 2 導電型不純物のイオン注入を行う第一の斜めイオン注入工程と、前記ゲート電極をマスクとして当該半導体層の両側面のそれぞれに対して、当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに、また基体平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対しては前記第一の斜めイオン注入工程よりも大きな角度で、第 2 導電型不純物のイオン注入を行う第二の斜めイオン注入工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

**【請求項 57】**

前記第一の斜めイオン注入工程は、基体平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対して 10 度以内の角度で行うことを特徴とする、請求項 56 に記載の電界効果型トランジスタの製造方法。

**【請求項 58】**

前記第一の斜めイオン注入工程は、基体平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対して平行に行うことを特徴とする、請求項 56 に記載の電界効果型トランジスタの製造方法。

**【請求項 59】**

請求項 1 又は 2 に記載の電界効果型トランジスタの製造方法であって、半導体層をパターニングして基体平面から突起した半導体層を形成する工程と、この突起した半導体層を跨ぐようにダミーゲート電極を形成する工程と、前記ダミーゲート電極をマスクとして当該ダミーゲート電極の両側からそれぞれ基体平



面に対して斜めに第2導電型不純物のイオン注入を行い、当該ダミーゲート電極下の半導体層の上部にチャネル不純物濃度調整領域を形成する工程と、

前記ダミーゲート電極をマスクとして当該半導体層に第1導電型不純物を導入してソース/ドレイン領域を形成する工程と、

前記ダミーゲート電極を埋め込むように厚い絶縁膜を形成する工程と、

前記ダミーゲート電極を除去し、形成された空隙内にゲート絶縁膜を介して導電性材料を埋め込んでゲート電極を形成する工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

【請求項60】

請求項1又は2に記載の電界効果型トランジスタの製造方法であって、

半導体層をパターンニングして基体平面から突起した半導体層を形成する工程と、

この突起した半導体層の上部に第2導電型不純物を導入して前記チャネル不純物濃度調整領域を形成する工程と、

この突起した半導体層の側面にゲート絶縁膜を介してゲート電極を形成する工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

【請求項61】

請求項1又は2に記載の電界効果型トランジスタの製造方法であって、

半導体層に第2導電型不純物を導入して、当該半導体層の上部にその下方部分より第2導電型不純物の濃度が高いチャネル不純物濃度調整領域を形成する工程と、

前記半導体層をパターンニングして、上部に第2導電型不純物の前記チャネル不純物濃度調整領域を有する基体平面から突起した半導体層を形成する工程と、

この突起した半導体層の側面にゲート絶縁膜を介してゲート電極を形成する工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

【請求項62】

請求項20に記載の電界効果型トランジスタの製造方法であって、

半導体層上にマスクパターンを形成する工程と、

前記マスクパターンをマスクとして当該マスクパターンの両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第2導電型不純物のイオン注入を行い、当該マスクパターンの周縁近傍において、当該マスクパターンの下部の半導体層に第2導電型不純物を導入する工程と、

前記マスクパターンをマスクとして当該半導体層をパターンニングし、前記第2導電型不純物領域からなる第1及び第2のチャネル不純物濃度調整領域を上部に有する基体平面から突起した半導体層を形成する工程と、

この突起した半導体層の側面にゲート絶縁膜を介してゲート電極を形成する工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

【請求項63】

請求項21に記載の電界効果型トランジスタの製造方法であって、

半導体層をパターンニングして基体平面から突起した半導体層を形成する工程と、

この突起した半導体層を跨ぐように絶縁膜を介してゲート電極を形成する工程と、

前記ゲート電極をマスクとして当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第2導電型不純物のイオン注入を行い、当該ゲート電極下部の半導体層の上部に当該ゲート電極の一对の辺に沿って互いに分離した第1及び第2のチャネル不純物濃度調整領域を形成する工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

【請求項64】

ゲート電極をマスクとして当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第2導電型不純物のイオン注入を行う工程において、前記イオン注入を基体平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対して10度以内の角度で行うことを特徴とする請求項63に記載の電界効果型トランジスタの製造方法。

【請求項65】

ゲート電極をマスクとして当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第2導電型不純物のイオン注入を行う工程において、前記イオン注入を基体平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対して平行に行うことを特徴とする請求項63に記載の電

界効果型トランジスタの製造方法。

【請求項 66】

請求項 23 に記載の電界効果型トランジスタの製造方法であって、  
半導体層をパターンニングして基体平面から突起した半導体層を形成する工程と、  
この突起した半導体層を跨ぐように絶縁膜を介してゲート電極を形成する工程と、  
前記ゲート電極をマスクとして当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第 2 導電型不純物のイオン注入を行う第一の斜めイオン注入工程と、  
前記ゲート電極をマスクとして当該半導体層の両側面のそれぞれに対して、当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに、また基体平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に対しては前記第一の斜めイオン注入工程よりも大きな角度で、第 2 導電型不純物のイオン注入を行う第二の斜めイオン注入工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

【請求項 67】

前記第一の斜めイオン注入工程は、基体平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に対して 10 度以内の角度で行うことを特徴とする、請求項 66 に記載の電界効果型トランジスタの製造方法。

【請求項 68】

前記第一の斜めイオン注入工程は、基体平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に対して平行に行うことを特徴とする、請求項 66 に記載の電界効果型トランジスタの製造方法。

【請求項 69】

請求項 33 に記載の電界効果型トランジスタの製造方法であって、  
半導体層に第 2 導電型不純物を導入して第 2 導電型不純物層を形成する工程と、  
前記半導体層上に、前記第 2 導電型不純物層より低い第 2 導電型不純物濃度を有する半導体層をエピタキシャル成長させる工程と、  
このエピタキシャル成長半導体層および前記第 2 導電型不純物層をパターンニングして、当該第 2 導電型不純物層からなる下部チャンネル不純物濃度調整領域を有する基体平面から突起した半導体層を形成する工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。



【書類名】明細書

【発明の名称】電界効果型トランジスタおよびその製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、電界効果型トランジスタおよびその製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

【構造】

最初に、一般的な FinFET の特徴について説明する。電界効果型トランジスタの性能向上を目的に、突起した半導体領域の両側面にゲート電極を設け、半導体領域の両側面にチャンネルを形成することを特徴とする FinFET と呼ばれる電界効果型トランジスタが提案されている。その典型的構造を図 3 1、図 3 2 に示す。図 3 1 は平面図、図 3 2 (a) は図 3 1 の A-A' 断面における断面図、図 3 2 (b) は図 3 1 の B-B' 断面における断面図である。支持基板 1 上に埋め込み絶縁膜 2 が設けられ、その上部に半導体層 3 が設けられる。半導体層 3 の側面にはゲート絶縁膜 4 を介してゲート電極 5 が設けられる (図 3 2 (a))。半導体層 3 のうち、ゲート電極に覆われない部分は高濃度の第一導電型の不純物が導入され、ソース／ドレイン領域 6 をなす。ゲート電極 5 に覆われた半導体層 3 はチャンネル形成領域 7 をなし、ゲート電極に適当な電圧を印加することにより、その表面に第一導電型のキャリアが誘起されてチャンネルが形成される。チャンネル形成領域には一般には低濃度の第二導電型不純物が導入されるか、あるいは導入されない。

【0003】

なお、FinFET において、半導体層の上部にもチャンネルが形成される構造 (図 3 2) をトライゲート構造と呼ぶ。トライゲート構造のトランジスタにおいては、半導体層上部の絶縁膜厚と半導体側面の絶縁膜厚が同程度であることが特徴である。また、半導体層の上部にチャンネルが形成されない構造 (図 3 3) をダブルゲート構造と呼ぶ。ダブルゲート構造のトランジスタにおいては、半導体側面の絶縁膜 (ゲート絶縁膜 4) よりも厚い絶縁膜よりなるキャップ絶縁膜 8 が半導体層上部に設けられることが特徴である。なお、通常の場合、キャップ絶縁膜 8 はゲート絶縁膜 4 を形成する工程とは異なる工程において形成される。なお、従来の形態においては、トライゲート構造の場合、ダブルゲート構造の場合のいずれにおいても、図 3 1 の B-B' 断面における構造と C-C' 断面における構造は同じである。

【0004】

次に、特開平 6-302817 号公報 (以下特許文献 1) において開示された技術について、図 3 7、図 3 8 を参照して説明する。図 3 7 は特許文献 1 に記載された斜視図である。図 3 8 (a) は図 3 1 の構造における A-A' 断面に相当する位置における断面構造を、図 3 8 (b) は図 3 1 の構造における B-B' 断面に相当する位置における断面構造を、それぞれ特許文献 1 をもとに描いたものである。

【0005】

特許文献 1 の構造においては、p 型のバルクシリコン基板上に形成される n チャンネル FinFET において、基板より突出した半導体層 3 にはソース領域 4 2 とドレイン領域 4 3 が形成され、ソース領域 4 2 とドレイン領域 4 3 に挟まれた領域にチャンネル形成領域 7 が形成されている。チャンネル形成領域 7 の上端部に p<sup>+</sup> 型の導電層 2 0 が形成されている。このため、チャンネル形成領域 7 の上端部はチャンネルとして動作せず、その上方のゲート電圧の影響を弱められる。この結果、半導体層上端部にしきい値電圧が低い寄生トランジスタが形成されることを防ぐことができる。なお、特許文献 1 において「半導体層の上端部」とは、半導体層の上部端面 (以下本発明の実施形態においては、「上部端面」を「上端」と記載) から、ある一定の深さまでの領域で、p<sup>+</sup> 型の導電層 2 0 が形成される部分を指す言葉として用いられている。

【0006】

【従来技術の課題】

nチャネルトランジスタを例に、従来のFinFETにおける課題を説明する。ここではnチャネルトランジスタについて説明するが、pチャネルトランジスタにおいては、極性を逆にすれば（例えば、nチャネルトランジスタにおける電位上昇を、pチャネルトランジスタにおいては電位低下と読みかえる。また、nチャネルトランジスタにおけるしきい値電圧の低下を、pチャネルトランジスタにおいてはしきい値電圧の上昇と読みかえる。）同様の議論が成り立つ。

#### 【0007】

（第一の課題）

図31のA-A'断面において、半導体層3の上端部の電位分布をシミュレーションした結果を図34(a)、図34(b)に示す。図34(a)はトライゲート構造の場合であり、図32(a)の断面に対応するもの、図34(b)はダブルゲート構造であり、図33(a)の断面に対応するものである。図中の等高線は真性半導体シリコンを基準にした等電位線であり、半導体層の中央から外側に向かって、 $-0.4\text{ V}$ 、 $-0.2\text{ V}$ 、 $0\text{ V}$ 、 $0.2\text{ V}$ 、 $0.4\text{ V}$ である。チャネル領域の不純物濃度は $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、ゲート電圧はゼロボルト、ゲート酸化膜厚は $2\text{ nm}$ である。なお、電位は真性半導体シリコンを基準にしているため、ゼロバイアスされている $n^+$ 型シリコンの電位は $0.56\text{ V}$ であり、ゼロバイアスされているゲートの電位は $0.56\text{ V}$ である。

#### 【0008】

ダブルゲート構造、トライゲート構造のいずれにおいても、半導体層の上部コーナ部において等電位線が湾曲している。これは上部コーナ部では、ゲート電極から不純物イオンに向う電界が集中するために、半導体層の他の部分よりも電位が上昇していることを示している。上部コーナ部の電位が上昇すると、上部コーナ部にしきい値電圧が低い寄生トランジスタが形成される。寄生トランジスタが形成されると、図36のようにサブスレッショルド電流が増加し、オフ電流が増加するという問題が生じる。この問題は、半導体層のチャネル形成領域中の第二導電型不純物濃度が高いほど顕著になり、第二導電型不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の場合に特に重要になる。

#### 【0009】

したがって、半導体層上部コーナ部における電位上昇を抑制し、寄生トランジスタの影響を縮小する技術が望まれる。

#### 【0010】

（第二の課題）

トライゲート構造のトランジスタにおいては、半導体層上面23、半導体層上部側面24及び半導体層側面25（それぞれ図39参照）のそれぞれにチャネルが形成され、ドレイン電流の経路となる。しかし、特許文献1の技術においては、チャネル形成領域7の上端部に $p^+$ 型の導電層20が形成され、チャネル形成領域7の上端部はチャネルとして動作しないので、図39に示す領域の分類に従えば、半導体層上面23及び半導体層上部側面24にはチャネルが形成されない。このため、チャネルが形成される範囲が減るのでドレイン電流が減少するという問題が発生する。

#### 【0011】

また、ダブルゲート構造のトランジスタにおいては、半導体層上部側面24及び半導体層側面25（それぞれ図40参照）のそれぞれにチャネルが形成され、ドレイン電流の経路となる。特許文献1には、ダブルゲート構造のトランジスタにおいてチャネル形成領域7の上端部に $p^+$ 型の導電層20を形成する形態は記載されていないが、もしダブルゲート構造のトランジスタにおいてチャネル形成領域7の上端部に $p^+$ 型の導電層20を形成した場合、半導体層上部側面24がチャネルとして動作しないので、トライゲート構造の場合と同様にチャネルが形成される範囲が減るのでドレイン電流が減少するという問題が発生する。

#### 【0012】

従って、半導体層の上部コーナ部の寄生トランジスタを抑制しつつ、寄生トランジスタの抑制に伴うドレイン電流の低下を抑える技術が望まれる。

【特許文献1】特開平6-302817号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

本発明の目的は、ドレイン電流を十分に確保しながら、FinFETの基体平面から突起した半導体層の上部コーナー部における寄生トランジスタの形成を抑制して、素子特性が改善されたFinFETを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明によれば、下記の電界効果型トランジスタ及びその製造方法を提供することができる。

【0015】

(1) 基体平面から上方に突起した半導体層と、この半導体層の両側面上に設けられたゲート電極と、このゲート電極と前記半導体層の側面の間に介在するゲート絶縁膜と、前記半導体層に第1導電型不純物が導入されたソース／ドレイン領域とを有し、

前記半導体層は、前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分にチャネル形成領域を有し、このチャネル形成領域における半導体層上部には、その下方部分より第2導電型不純物濃度が高いチャネル不純物濃度調整領域を有し、

このチャネル不純物濃度調整領域は、前記ゲート電極に信号電圧を印加した動作状態において、当該チャネル不純物濃度調整領域における半導体層の前記ゲート絶縁膜に相対する側面部分にチャネルが形成されることを特徴とする電界効果型トランジスタ。

【0016】

(2) 基体平面から上方に突起した半導体層と、この半導体層を跨ぐようにその上部から相対する両側面上に延在するゲート電極と、このゲート電極と前記半導体層の間に介在するゲート絶縁膜と、前記半導体層に第1導電型不純物が導入されたソース／ドレイン領域とを有し、

前記半導体層は、前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分にチャネル形成領域を有し、このチャネル形成領域における半導体層上部には、その下方部分より第2導電型不純物濃度が高いチャネル不純物濃度調整領域を有し、

このチャネル不純物濃度調整領域は、前記ゲート電極に信号電圧を印加した動作状態において、当該チャネル不純物濃度調整領域における半導体層の前記ゲート絶縁膜に相対する上面および側面部分にチャネルが形成されることを特徴とする電界効果型トランジスタ。

。

【0017】

(3) 前記チャネル不純物濃度調整領域は、当該半導体層の下方部分の第2導電型不純物濃度と同じ濃度を半導体層上部に有するときに、

nチャネルトランジスタの場合は当該半導体層上部のコーナー部で上昇する電位を低減できる、

pチャネルトランジスタの場合は当該半導体層上部のコーナー部での電位低下を縮小できる、

不純物濃度を有する発明1又は2の電界効果型トランジスタ。

【0018】

(4) nチャネルトランジスタの場合は当該半導体層上部のコーナー部で上昇する電位を60mV以上縮小できる、

pチャネルトランジスタの場合は当該半導体層上部のコーナー部での電位低下を60mV以上縮小できる、

不純物濃度を有する発明1、2又は3の電界効果型トランジスタ。

【0019】

(5) 前記チャネル不純物濃度調整領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値が、当該チャネル不純物濃度調整領域の下方の他の領域における第2導電型のネット不

純物濃度の平均値の 1.3 倍以上 4 倍以下の範囲にある発明 1～4 のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0020】

(6) 前記チャネル不純物濃度調整領域における第 2 導電型のネット不純物濃度の平均値が、当該チャネル不純物濃度調整領域の下方の他の領域における第 2 導電型のネット不純物濃度の平均値の 1.5 倍以上 3 倍以下の範囲にある発明 1～4 のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0021】

(7) 前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の上端から下方への深さ  $H_{tp}$  が、基体平面に平行かつチャネル長方向に垂直な当該半導体層の幅  $W_{fin}$  の 0.7 倍以下である発明 1～6 のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0022】

(8) 前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の上端から下方への深さ  $H_{tp}$  が、基体平面に平行かつチャネル長方向に垂直な当該半導体層の幅  $W_{fin}$  の  $7/40$  倍以上である発明 1～7 のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0023】

(9) 前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の上端から下方への深さ  $H_{tp}$  が 5～24.5 nm の範囲にある発明 1～8 のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0024】

(10) 前記チャネル形成領域のうち前記チャネル不純物濃度調整領域を除いたその他の領域における第 2 導電型のネット不純物濃度の平均値が  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以上である発明 1～9 のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0025】

(11) 前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記チャネル形成領域における半導体層上部において基体平面と平行な面内方向全体にわたって設けられている発明 1～10 のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0026】

(12) 前記チャネル不純物濃度調整領域として、前記チャネル形成領域における半導体層上部において、当該半導体層のコーナー部の少なくとも一部を含むように当該チャネル不純物濃度調整領域を有し、さらに当該チャネル不純物濃度調整領域を含む基体平面に平行な断面において当該チャネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つ発明 1～10 のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0027】

(13) 前記チャネル形成領域における半導体層の上部において、一方のコーナー部を含み一対のソース／ドレイン領域間を結ぶようにチャネル長方向に沿って連続して設けられた第 1 チャネル不純物濃度調整領域と、他方のコーナー部を含み一対のソース／ドレイン領域間を結ぶようにチャネル長方向に沿って連続して設けられた第 2 チャネル不純物濃度調整領域とを有し、さらに第 1 チャネル不純物濃度調整領域と第 2 チャネル不純物濃度調整領域の間にこれらを互いに分離するように一対のソース／ドレイン領域間にわたってこれらチャネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つ発明 12 の電界効果型トランジスタ。

【0028】

(14) 前記チャネル形成領域における半導体層の上部において、一方のソース／ドレイン領域に接するように一方のコーナー部から他方のコーナー部にかけて連続して設けられた第 1 チャネル不純物濃度調整領域と、他方のソース／ドレイン領域に接するように一方のコーナー部から他方のコーナー部にかけて連続して設けられた第 2 チャネル不純物濃度調整領域とを有し、さらに第 1 チャネル不純物濃度調整領域と第 2 チャネル不純物濃度調整領域の間にこれらを互いに分離するように一対のコーナー部間にわたってこれらチャネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つ発明 12 の電界効果型トランジスタ。

【0029】

(15) 前記チャンネル形成領域における半導体層の上部において、一方のソース／ドレイン領域に接するように一方のコーナー部から他方のコーナー部にかけて連続して設けられたチャンネル不純物濃度調整領域を有し、

前記チャンネル不純物濃度調整領域と他方のソース／ドレイン領域との間にはチャンネル不純物濃度調整領域を有しない発明12の電界効果型トランジスタ。

#### 【0030】

(16) 前記チャンネル形成領域における半導体層の上部において、一方のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部の一部を含む第1チャンネル不純物濃度調整領域と、他方のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部の一部を含む第2チャンネル不純物濃度調整領域と、一方のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部に対向する第2のコーナー部の一部を含む第3チャンネル不純物濃度調整領域と、他方のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部に対向する第2のコーナー部の一部を含む第4チャンネル不純物濃度調整領域とを有し、さらにこれらのチャンネル不純物濃度調整領域が互いに分離するように一对のソース／ドレイン領域間および一对の第1／第2コーナー部間にわたってこれらチャンネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つ発明12の電界効果型トランジスタ。

#### 【0031】

(17) 前記チャンネル形成領域における半導体層の上部において、第一のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部の一部を含む第1チャンネル不純物濃度調整領域と、前記第一のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部に対向する第2のコーナー部の一部を含む第2チャンネル不純物濃度調整領域を有し、

前記第1チャンネル不純物濃度調整領域と前記第2チャンネル不純物濃度調整領域との間には、チャンネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持ち、

第一のソース／ドレイン領域に対向する第二のソース／ドレイン領域の近傍にはチャンネル不純物濃度調整領域を有しないことを特徴とする、発明12の電界効果型トランジスタ。

#### 【0032】

(18) 基体平面から上方に突起した半導体層と、この半導体層の両側面上に設けられたゲート電極と、このゲート電極と前記半導体層の側面の間に介在するゲート絶縁膜と、前記半導体層に第1導電型不純物が導入されたソース／ドレイン領域とを有し、

前記半導体層は、前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分にチャンネル形成領域を有し、当該ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層上部において、その下方部分より第2導電型不純物濃度が高いチャンネル不純物濃度調整領域を当該半導体層のコーナー部の少なくとも一部を含むように有し、さらに当該チャンネル不純物濃度調整領域を含む基体平面に平行な断面において当該チャンネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つことを特徴とする不純物濃度を有する電界効果型トランジスタ。

#### 【0033】

(19) 基体平面から上方に突起した半導体層と、この半導体層を跨ぐようにその上部から相対する両側面上に延在するゲート電極と、このゲート電極と前記半導体層の間に介在するゲート絶縁膜と、前記半導体層に第1導電型不純物が導入されたソース／ドレイン領域とを有し、

前記半導体層は、前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分にチャンネル形成領域を有し、当該ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層上部において、その下方部分より第2導電型不純物濃度が高いチャンネル不純物濃度調整領域を当該半導体層のコーナー部の少なくとも一部を含むように有し、さらに当該チャンネル不純物濃度調整領域を含む基体平面に平行な断面において当該チャンネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つことを特徴とする不純物濃度を有する電界効果型トランジスタ。

#### 【0034】

(20) 前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層の上部において、一方のコーナー部を含み一对のソース／ドレイン領域間を結ぶようにチャンネル長方向に沿って連続して設けられた第1チャンネル不純物濃度調整領域と、他方のコーナー部を含み一

対のソース／ドレイン領域間を結ぶようにチャンネル長方向に沿って連続して設けられた第2チャンネル不純物濃度調整領域とを有し、さらに第1チャンネル不純物濃度調整領域と第2チャンネル不純物濃度調整領域の間にこれらを互いに分離するように一对のソース／ドレイン領域間にわたってこれらチャンネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つ発明18又は19の電界効果型トランジスタ。

**【0035】**

(21) 前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層の上部において、一方のソース／ドレイン領域に接するように一方のコーナー部から他方のコーナー部にかけて連続して設けられた第1チャンネル不純物濃度調整領域と、他方のソース／ドレイン領域に接するように一方のコーナー部から他方のコーナー部にかけて連続して設けられた第2チャンネル不純物濃度調整領域とを有し、さらに第1チャンネル不純物濃度調整領域と第2チャンネル不純物濃度調整領域の間にこれらを互いに分離するように一对のコーナー部間にわたってこれらチャンネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つ発明18又は19の電界効果型トランジスタ。

**【0036】**

(22) 前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層の上部において、一方のソース／ドレイン領域に接するように一方のコーナー部から他方のコーナー部にかけて連続して設けられたチャンネル不純物濃度調整領域を有し、

前記チャンネル不純物濃度調整領域と他方のソース／ドレイン領域との間にはチャンネル不純物濃度調整領域を有しない、発明18又は19の電界効果型トランジスタ。

**【0037】**

(23) 前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層の上部において、一方のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部の一部を含む第1チャンネル不純物濃度調整領域と、他方のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部の一部を含む第2チャンネル不純物濃度調整領域と、一方のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部に対向する第2のコーナー部の一部を含む第3チャンネル不純物濃度調整領域と、他方のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部に対向する第2のコーナー部の一部を含む第4チャンネル不純物濃度調整領域とを有し、さらにこれらのチャンネル不純物濃度調整領域が互いに分離するように一对のソース／ドレイン領域間および一对の第1／第2コーナー部間にわたってこれらチャンネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つ発明18又は19の電界効果型トランジスタ。

**【0038】**

(24) 前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層の上部において、第一のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部の一部を含む第1チャンネル不純物濃度調整領域と、前記第一のソース／ドレイン領域に接し第1のコーナー部に対向する第2のコーナー部の一部を含む第2チャンネル不純物濃度調整領域を有し、

前記第1チャンネル不純物濃度調整領域と前記第2チャンネル不純物濃度調整領域との間には、チャンネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持ち、

第一のソース／ドレイン領域に対向する第二のソース／ドレイン領域の近傍にはチャンネル不純物濃度調整領域を有しないことを特徴とする、  
発明18又は19の電界効果型トランジスタ。

**【0039】**

(25) 前記チャンネル不純物濃度調整領域は、当該チャンネル不純物濃度調整領域を含む基体平面に垂直な断面において、当該チャンネル不純物濃度調整領域の第2導電型のネット不純物濃度の平均値が、当該チャンネル不純物濃度調整領域の下方の他の領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値の1.3倍以上4倍以下の範囲にある発明18又は19の電界効果型トランジスタ。

**【0040】**

(26) 前記チャンネル不純物濃度調整領域は、当該チャンネル不純物濃度調整領域を含む基体平面に垂直な断面において、当該チャンネル不純物濃度調整領域の第2導電型のネット



不純物濃度の平均値が、当該チャネル不純物濃度調整領域の下方の他の領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値の1.5倍以上3倍以下の範囲にある発明18又は19の電界効果型トランジスタ。

**【0041】**

(27) 前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分の半導体層における基体平面に垂直な線上において、当該チャネル不純物濃度調整領域の第2導電型のネット不純物濃度の平均値が、当該チャネル不純物濃度調整領域の下方の他の領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値の1.3倍以上4倍以下の範囲にある濃度分布を有する発明18又は19の電界効果型トランジスタ。

**【0042】**

(28) 前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分の半導体層における基体平面に垂直な線上において、当該チャネル不純物濃度調整領域の第2導電型のネット不純物濃度の平均値が、当該チャネル不純物濃度調整領域の下方の他の領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値の1.5倍以上3倍以下の範囲にある濃度分布を有する発明18又は19の電界効果型トランジスタ。

**【0043】**

(29) 前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の上端から下方への深さ $H_{top}$ が、基体平面に平行かつチャネル長方向に垂直な当該半導体層の幅 $W_{fin}$ の0.7倍以上である発明18～28のいずれかの電界効果型トランジスタ。

**【0044】**

(30) 前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の上端から下方への深さ $H_{top}$ が、基体平面に平行かつチャネル長方向に垂直な当該半導体層の幅 $W_{fin}$ の $7/40$ 倍以上である発明18～28のいずれかの電界効果型トランジスタ。

**【0045】**

(31) 前記チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の上端から下方への深さ $H_{top}$ が $5 \sim 24.5 \text{ nm}$ の範囲にある発明18～28のいずれかの電界効果型トランジスタ。

**【0046】**

(32) 前記チャネル形成領域のうち前記チャネル不純物濃度調整領域を除いたその他の領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である発明18～31のいずれかの電界効果型トランジスタ。

**【0047】**

(33) 前記半導体層は、当該半導体層上部に設けられた前記チャネル不純物濃度調整領域である上部チャネル不純物濃度調整領域と、この上部チャネル不純物濃度調整領域の下方に設けられた、上部チャネル不純物濃度調整領域より第2導電型不純物濃度が低い中部チャネル形成領域と、この中部チャネル形成領域下方の半導体層下部に設けられた、中部チャネル形成領域より第2導電型不純物濃度が高い下部チャネル不純物濃度調整領域とを有する発明1、2、18又は19の電界効果型トランジスタ。

**【0048】**

(34) 前記下部チャネル不純物濃度調整領域は、前記ゲート電極に信号電圧を印加した動作状態において、当該下部チャネル不純物濃度調整領域における半導体層の前記ゲート絶縁膜に相対する側面部分にチャネルが形成される発明33の電界効果型トランジスタ。

**【0049】**

(35) 前記下部チャネル不純物濃度調整領域は、前記中部チャネル形成領域の第2導電型不純物濃度と同じ濃度を半導体層下部に有するときに当該半導体層下部のコーナー部で上昇する電位を低減できる不純物濃度を有する発明33又は34の電界効果型トランジスタ。

**【0050】**

(36) 前記下部チャネル不純物濃度調整領域における第2導電型のネット不純物濃度

の平均値が、前記中部チャネル形成領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値の1.3倍以上4倍以下である発明33、34又は35の電界効果型トランジスタ。

【0051】

(37) 前記上部チャネル不純物濃度調整領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値が、前記中部チャネル形成領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値の1.3倍以上4倍以下である発明36の電界効果型トランジスタ。

【0052】

(38) 前記下部チャネル不純物濃度調整領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値が、前記中部チャネル領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値の1.5倍以上3倍以下である発明33、34又は35の電界効果型トランジスタ。

【0053】

(39) 前記上部チャネル不純物濃度調整領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値が、前記中部チャネル領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値の1.5倍以上3倍以下である発明38の電界効果型トランジスタ。

【0054】

(40) 前記下部チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の下端から上方への高さ $H_{top2}$ が、基体平面に平行かつチャネル長方向に垂直な前記半導体層の幅 $W_{fin}$ の0.7倍以下である発明33～39のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0055】

(41) 前記上部チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の下端から上方への高さ $H_{top2}$ が、基体平面に平行かつチャネル長方向に垂直な前記半導体層の幅 $W_{fin}$ の0.7倍以下である発明40の電界効果型トランジスタ。

【0056】

(42) 前記下部チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の下端から上方への高さ $H_{top2}$ が、基体平面に平行かつチャネル長方向に垂直な当該半導体層の幅 $W_{fin}$ の7/40倍以上である発明33～40のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0057】

(43) 前記上部チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の下端から上方への高さ $H_{top2}$ が、基体平面に平行かつチャネル長方向に垂直な当該半導体層の幅 $W_{fin}$ の7/40倍以上である発明42の電界効果型トランジスタ。

【0058】

(44) 前記下部チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の下端から上方への高さ $H_{top2}$ が5～24.5 nmの範囲にある請求項33～43のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0059】

(45) 前記上部チャネル不純物濃度調整領域は、前記半導体層の下端から上方への高さ $H_{top2}$ が5～24.5 nmの範囲にある発明44の電界効果型トランジスタ。

【0060】

(46) 前記下部チャネル不純物濃度調整領域は、前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層下部において基体平面と平行な面内方向全体にわたって設けられている発明33～45のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0061】

(47) 前記下部チャネル不純物濃度調整領域として、前記ソース／ドレイン領域に挟まれた部分における半導体層下部において、当該半導体層のコーナー部の少なくとも一部を含むように当該チャネル不純物濃度調整領域を有し、さらに当該下部チャネル不純物濃度調整領域を含む基体平面に平行な断面において当該下部チャネル不純物濃度調整領域を有しない部分を持つ発明33～45のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0062】

(48) 前記チャネル形成領域のうち前記上部チャネル不純物濃度調整領域と前記下部チャネル不純物濃度調整領域を除いたその他の領域における第2導電型のネット不純物濃



度の平均値が  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以上である発明 33～47 のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0063】

(49) 前記半導体層の上部と前記ゲート電極との間に、当該半導体層の上面にチャンネルが形成されないように前記ゲート絶縁膜よりも厚いキャップ絶縁膜が設けられた発明 1 又は 18 の電界効果型トランジスタ。

【0064】

(50) 前記の突起した半導体層の下には支持基板を有し、当該半導体層はこの支持基板と一体に接続している発明 1～49 のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0065】

(51) 前記の突起した半導体層の下には支持基板を有し、当該半導体層はこの支持基板上に埋め込み絶縁膜を介して設けられている発明 1～49 のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0066】

(52) 前記チャンネル形成領域のうち前記チャンネル不純物濃度調整領域を除いた領域において、半導体層側面の電位が半導体層中心部の電位に対して、n チャンネルトランジスタの場合は 120 mV 以上上昇し、p チャンネルトランジスタの場合は 120 mV 以上低下していることを特徴とする、発明 1～51 のいずれかの電界効果型トランジスタ。

【0067】

(53) 発明 1 又 2 の電界効果型トランジスタの製造方法であって、  
半導体層をパターンニングして基体平面から突起した半導体層を形成する工程と、  
この突起した半導体層を跨ぐように絶縁膜を介してゲート電極を形成する工程と、  
このゲート電極をマスクとして当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第 2 導電型不純物のイオン注入を行い、当該ゲート電極下の半導体層の上部にチャンネル不純物濃度調整領域を形成する工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

【0068】

(54) ゲート電極をマスクとして当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第 2 導電型不純物のイオン注入を行う工程において、前記イオン注入を基体平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に対して 10 度以内の角度で行うことを特徴とする発明 53 の電界効果型トランジスタの製造方法。

【0069】

(55) ゲート電極をマスクとして当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第 2 導電型不純物のイオン注入を行う工程において、前記イオン注入を基体平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に対して平行に行うことを特徴とする発明 53 の電界効果型トランジスタの製造方法。

【0070】

(56) 発明 1 又は 2 の電界効果型トランジスタの製造方法であって、  
半導体層をパターンニングして基体平面から突起した半導体層を形成する工程と、  
この突起した半導体層を跨ぐように絶縁膜を介してゲート電極を形成する工程と、  
前記ゲート電極をマスクとして当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第 2 導電型不純物のイオン注入を行う第一の斜めイオン注入工程と、  
前記ゲート電極をマスクとして当該半導体層の両側面のそれぞれに対して、当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに、また基体平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に対しては前記第一の斜めイオン注入工程よりも大きな角度で、第 2 導電型不純物のイオン注入を行う第二の斜めイオン注入工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

【0071】

(57) 前記第一の斜めイオン注入工程は、基体平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に対して 10 度以内の角度で行うことを特徴とする、発明 56 の電界効果型トランジスタの製造方法。

## 【0072】

(58) 前記第一の斜めイオン注入工程は、基体平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に対して平行に行うことを特徴とする、発明56の電界効果型トランジスタの製造方法。

## 【0073】

(59) 発明1又は2の電界効果型トランジスタの製造方法であって、  
半導体層をパターニングして基体平面から突起した半導体層を形成する工程と、  
この突起した半導体層を跨ぐようにダミーゲート電極を形成する工程と、  
前記ダミーゲート電極をマスクとして当該ダミーゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第2導電型不純物のイオン注入を行い、当該ダミーゲート電極下の半導体層の上部にチャンネル不純物濃度調整領域を形成する工程と、  
前記ダミーゲート電極をマスクとして当該半導体層に第1導電型不純物を導入してソース/ドレイン領域を形成する工程と、  
前記ダミーゲート電極を埋め込むように厚い絶縁膜を形成する工程と、  
前記ダミーゲート電極を除去し、形成された空隙内にゲート絶縁膜を介して導電性材料を埋め込んでゲート電極を形成する工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

## 【0074】

(60) 発明1又は2の電界効果型トランジスタの製造方法であって、  
半導体層をパターニングして基体平面から突起した半導体層を形成する工程と、  
この突起した半導体層の上部に第2導電型不純物を導入して前記チャンネル不純物濃度調整領域を形成する工程と、  
この突起した半導体層の側面にゲート絶縁膜を介してゲート電極を形成する工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

## 【0075】

(61) 発明1又は2の電界効果型トランジスタの製造方法であって、  
半導体層に第2導電型不純物を導入して、当該半導体層の上部にその下方部分より第2導電型不純物の濃度が高いチャンネル不純物濃度調整領域を形成する工程と、  
前記半導体層をパターニングして、上部に第2導電型不純物の前記チャンネル不純物濃度調整領域を有する基体平面から突起した半導体層を形成する工程と、  
この突起した半導体層の側面にゲート絶縁膜を介してゲート電極を形成する工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

## 【0076】

(62) 発明20の電界効果型トランジスタの製造方法であって、  
半導体層上にマスクパターンを形成する工程と、  
前記マスクパターンをマスクとして当該マスクパターンの両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第2導電型不純物のイオン注入を行い、当該マスクパターンの周縁近傍において、当該マスクパターンの下部の半導体層に第2導電型不純物を導入する工程と、  
前記マスクパターンをマスクとして当該半導体層をパターニングし、前記第2導電型不純物領域からなる第1及び第2のチャンネル不純物濃度調整領域を上部に有する基体平面から突起した半導体層を形成する工程と、  
この突起した半導体層の側面にゲート絶縁膜を介してゲート電極を形成する工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

## 【0077】

(63) 発明21の電界効果型トランジスタの製造方法であって、  
半導体層をパターニングして基体平面から突起した半導体層を形成する工程と、  
この突起した半導体層を跨ぐように絶縁膜を介してゲート電極を形成する工程と、  
前記ゲート電極をマスクとして当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第2導電型不純物のイオン注入を行い、当該ゲート電極下部の半導体層の上部に当該ゲート電極の一对の辺に沿って互いに分離した第1及び第2のチャンネル不純物濃度調整領域を形成する工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

**【0078】**

(64) ゲート電極をマスクとして当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第2導電型不純物のイオン注入を行う工程において、前記イオン注入を基体平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に対して10度以内の角度で行うことを特徴とする発明63の電界効果型トランジスタの製造方法。

**【0079】**

(65) ゲート電極をマスクとして当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第2導電型不純物のイオン注入を行う工程において、前記イオン注入を基体平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に対して平行に行うことを特徴とする発明63の電界効果型トランジスタの製造方法。

**【0080】**

(66) 発明23の電界効果型トランジスタの製造方法であって、  
半導体層をパターンニングして基体平面から突起した半導体層を形成する工程と、  
この突起した半導体層を跨ぐように絶縁膜を介してゲート電極を形成する工程と、  
前記ゲート電極をマスクとして当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに第2導電型不純物のイオン注入を行う第一の斜めイオン注入工程と、  
前記ゲート電極をマスクとして当該半導体層の両側面のそれぞれに対して、当該ゲート電極の両側からそれぞれ基体平面に対して斜めに、また基体平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に対しては前記第一の斜めイオン注入工程よりも大きな角度で、第2導電型不純物のイオン注入を行う第二の斜めイオン注入工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

**【0081】**

(67) 前記第一の斜めイオン注入工程は、基体平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に対して10度以内の角度で行うことを特徴とする、発明66の電界効果型トランジスタの製造方法。

**【0082】**

(68) 前記第一の斜めイオン注入工程は、基体平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に対して平行に行うことを特徴とする、発明66の電界効果型トランジスタの製造方法。

**【0083】**

(69) 発明33の電界効果型トランジスタの製造方法であって、  
半導体層に第2導電型不純物を導入して第2導電型不純物層を形成する工程と、  
前記半導体層上に、前記第2導電型不純物層より低い第2導電型不純物濃度を有する半導体層をエピタキシャル成長させる工程と、  
このエピタキシャル成長半導体層および前記第2導電型不純物層をパターンニングして、当該第2導電型不純物層からなる下部チャンネル不純物濃度調整領域を有する基体平面から突起した半導体層を形成する工程を有する電界効果型トランジスタの製造方法。

**【0084】**

なお、本発明において「基体平面」あるいは「基板平面」とは基板に平行（水平）な任意の平面を意味する。

**【0085】**

基板とは、突起した半導体層を支持する構造物をいい、通常はSOI基板、バルク半導体基板などの半導体基板である。半導体層の全体が突起形状に加工された後のSOI基板においては、埋め込み絶縁層と支持基板よりなる構造が基板を成す。

**【0086】**

基板に平行な方向とは、基板が延在する方向に平行な方向である。本明細書に記載した実施形態においては、突起した半導体層を形成する工程よりも前の半導体層の表面に平行な方向、または突起した半導体層を形成する工程よりも前のバルク半導体基板の表面に平行な方向に一致する。また、通常FinFETはSOI基板、バルク半導体基板等の半導体ウエハ上に形成されるので、通常はウエハ面に平行な方向である。

また、チャンネル長方向とは、二つのソース／ドレイン領域を結ぶ方向である。

【発明の効果】

【0087】

本発明によれば、基板上に突起した半導体層の側面にチャンネルが形成される電界効果型トランジスタにおいて、半導体層上部コーナーに形成される寄生トランジスタを抑制することができる。

【0088】

また、本発明によれば、半導体層上部コーナーに形成される寄生トランジスタを抑制すると同時に、半導体層上部側面に、またトライゲート構造の場合はさらに半導体層上面に、チャンネルを形成することにより、半導体層の上部をチャンネルとして使用することが可能となり、チャンネルが形成される領域が増し、ドレインに流入する電流が増すので、オン電流が増加する。

【0089】

また、本発明によれば、半導体層上部コーナーに形成される寄生トランジスタを抑制すると同時に、半導体層を完全空乏化させることができる。

【0090】

また、本発明によれば、半導体層上端において、上部コーナーにおける寄生トランジスタの抑制に必要な一部の領域においてのみ不純物濃度を高くすることにより、不純物濃度が高い領域を除いた半導体層上端部にチャンネルが形成されやすくなり、チャンネル抵抗が低減されるので、ドレインに流入する電流が増すので、オン電流が増加する。

【0091】

また、本発明によれば、半導体層の上端及び下端の両方において、不純物濃度が適度に高い領域を設けるので、半導体層の上部コーナーに形成される寄生トランジスタ及び半導体層の下部コーナーに形成される寄生トランジスタの双方を抑制することができる。

【0092】

また、本発明によれば、上記効果が得られる電界効果型トランジスタを製造する方法を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0093】

(第一実施形態)

[構造]

第一実施形態について、図4および図5を参照して説明する。なお、図4(a)は図5のA-A'断面における断面図であり、従来例を示す図31のA-A'断面に相当する位置における断面図である。図4(b)は図5のB-B'断面における断面図であり、従来例を示す図31のB-B'断面に相当する位置における断面図である。

【0094】

本実施形態においては基板から上方に突起した半導体層3が設けられ、半導体層の側面にはゲート絶縁膜4を介してゲート電極5が設けられる。ゲート電極5は適当な寸法にパターニングされており、ゲート電極5に覆われない位置の半導体層3には第一導電型の不純物が高濃度に導入されたソース／ドレイン領域6が形成される。ゲート電極5に覆われた半導体層であるチャンネル形成領域7には、低濃度の第二導電型不純物が導入され、ゲート電極5に適当な電圧を印加することにより第一導電型のキャリアよりなるチャンネルが形成される。ゲート電極5及びソース／ドレイン領域6にはコンタクト17を介して配線18が接続される。

【0095】

チャンネル形成領域7をなす半導体層3の上端からある範囲にわたって設けられるチャンネル不純物濃度調整領域10は、チャンネル不純物濃度調整領域10を除く半導体層3よりも高濃度の第二導電型不純物が導入される。但し、このチャンネル不純物濃度調整領域10に導入される不純物の濃度は、ソース／ドレインなどの高濃度領域に導入される不純物の濃度より低い。チャンネル不純物濃度調整領域の不純物濃度は、半導体層の上部コーナー部の

電位上昇を抑制し、かつチャネル不純物濃度調整領域の上面及び側面に、ゲート電圧の印加とともにチャネルが形成される程度の濃度に調整される。

**【0096】**

第二導電型であるチャネル形成領域において半導体層3の上端から深さ $H_{top}$ の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値 $N_{top}$ は、典型的には半導体層3の上端から深さ $H_{top}$ の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値 $N$ の1.3倍から4倍の範囲になる。より典型的には、半導体層3の上端から深さ $H_{top}$ の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値 $N$ の1.5倍から3倍の範囲になる。

**【0097】**

あるいは、半導体層の上部及び側面の界面から1nmの範囲を除外して求めた、半導体層3の上端から深さ $H_{top}$ の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値は、同じく半導体層の上部及び側面の界面から1nmの範囲を除外して求めた、半導体層3の上端から深さ $H_{top}$ の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値の1.5倍から3倍の範囲にある。ここで半導体層の上部及び側面の界面から1nmの範囲を除外する理由は、半導体層の上部及び側面の界面付近では偏析作用により不純物濃度が極めて急峻に変化すること、またこのように濃度が急峻に変化している領域は狭いため電気特性に与える影響が少ないことを考慮し、不純物濃度が極めて急峻に変化する領域の典型的な幅である1nmの範囲を除外することによる。

**【0098】**

またチャネル不純物濃度調整領域の不純物濃度は、チャネル不純物濃度調整領域が設けられない場合に比べて（すなわちチャネル不純物濃度調整領域の不純物濃度を上記 $N$ で置き換えた場合に比べて）半導体層上部のコーナー部での電位上昇を低減できる $N_{top}$ と $N$ との関係を満たすように設定される。この時、半導体層上部のコーナー部での電位上昇低減量は、典型的には半導体層上部コーナー部の少なくとも一部の領域で、60mV以上（60mVの低減は寄生トランジスタよる漏れ電流が一桁減少する条件に相当。）の低減であることが望ましい。

**【0099】**

本発明は典型的には半導体層の上部コーナー部の少なくとも一部の領域で、電界集中による電位上昇を60mV以上低減するものである。本発明は、典型的には、チャネル不純物濃度調整領域が設けられない場合に半導体層の上部コーナー部の少なくとも一部の領域で60mV以上の電位上昇が起きてしまうトランジスタの特性を改善するために適用される。

**【0100】**

図83に上部コーナー部における電位上昇量 $V_{corner}$ （図中黒丸）、上部コーナー部よりも下部における半導体層側面の半導体層中心部に対する電位差 $V_{side}$ （図中白丸）のそれぞれと、半導体層3中の第二導電型不純物濃度の平均値との関係を、チャネル形成領域において計算した結果を示す。計算は、図32(a)、図34(a)の断面に相当する位置に対して行った（図83(a)参照）。

**【0101】**

点 $p_{corner}$ は半導体層の上部コーナー部において、電位が最も高い位置（一般には角部であるが、角の丸められた場合は各位置の電位の比較から決まる。）を示す。点 $p_{side}$ は電界集中が起こらない垂直方向（垂直方向とは、図の縦方向。）の位置における半導体層側面の位置（上部コーナー部よりも下の部分における半導体層の側面。半導体側面で、電位の垂直方向依存性がほぼゼロになる位置か、それが無い場合は半導体層の側面で電位が最低になる位置をとる）を示す。点 $p_{center}$ は点 $p_{side}$ と垂直方向の位置が同じで、半導体層の幅方向（ $W_{fin}$ 方向、図の横方向）において中心となる位置である。上部コーナー部における電位上昇量 $V_{corner}$ は点 $p_{corner}$ の電位から点 $p_{side}$ の電位を引いた値であり、上部コーナー部よりも下部における半導体層側面の半導体層中心部に対する電位差 $V_{side}$ は、点 $p_{side}$ の電位から点 $p_{center}$ の電位を引いた値である。半導体層の幅は30nm

、ゲート酸化膜厚は2 nm、ゲート電圧は0 Vとして計算を行った。第二導電型のネット不純物濃度は半導体層中で一定とした。なお、半導体層側面の垂直方向に対して点 p side の電位は最小値のまま変化しないが、同じ垂直方向位置の点 p center の電位が変化する場合、点 p center の電位が最小になる垂直方向位置を選択する。

#### 【0102】

本発明は、典型的には、前述のようにチャネル不純物濃度調整領域が設けられない場合に  $V_{\text{corner}}$  が 60 mV 以上となるトランジスタの特性を改善するために適用されるが、図 83 (b) から、 $V_{\text{side}}$  は  $V_{\text{corner}}$  の 2 倍であるという関係があると言えるので、本発明は、典型的には、チャネル不純物濃度調整領域が設けられない場合に  $V_{\text{side}}$  が 120 mV 以上となるトランジスタの特性を改善するために適用される。

#### 【0103】

また、チャネル不純物濃度調整領域は典型的には電位が上昇する上部コーナー部よりも浅く設けられ、チャネル不純物濃度調整領域を設けることが、上部コーナー部よりも下部の領域における水平方向の電位差である  $V_{\text{side}}$  に与える影響は小さいので、本実施形態のトランジスタは、典型的には  $V_{\text{side}}$  が 120 mV 以上であるという特徴を持つ。但し、本実施形態のトランジスタにおける p side とは、チャネル不純物濃度調整領域の下部に位置する半導体層（チャネル形成領域のうちチャネル不純物濃度調整領域を除いた部分）の側面で、半導体側面での電位の垂直方向依存性がほぼゼロになる位置か、それが無い場合はチャネル形成領域のうちチャネル不純物濃度調整領域の下部に位置する領域の側面で電位が最低になる位置である。なお、短チャネルのトランジスタで、p side、p corner、p center の電位がゲート長方向の位置に依存して変化する場合、p center の電位が最も小さい位置の断面における電位を選ぶ。p center の電位がゲート長方向のある領域にわたって最小値をとる場合は、その中で p side の電位が最も小さい位置の断面における電位を選ぶ。p center の電位と、p side の電位がともにそれぞれ最小値をとる領域がゲート長方向のある領域にわたって存在するときは、その中で p corner の電位が最も小さい位置の断面における電位を選ぶ。三者がそれぞれ最小値をとる領域がゲート長方向のある領域にわたって存在するときは、その領域中の任意の位置の断面において電位を評価する。また、電位と電位差の評価は線形領域（ドレイン電圧が低い領域で、典型的にはドレイン電圧が 0.05 V）のサブスレッショルド領域（通常、ゲート電圧がしきい値電圧より 0.1 ~ 0.4 V 低い条件であり、典型的にはゲート電圧がゼロ V）において行う。なお、以上 p side、p corner、p center、 $V_{\text{corner}}$ 、 $V_{\text{side}}$  に関する議論は n チャネルトランジスタを例に説明をしたが p チャネルトランジスタの場合は、極性が逆である。

#### 【0104】

また、 $V_{\text{side}}$  が 120 mV 以上となるのは、不純物濃度が  $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以上の場合であるので、本発明は、典型的には、チャネル不純物濃度調整領域が設けられない場合に半導体層中の不純物濃度の平均値が  $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以上であるトランジスタの性能を改善するために適用され、従って本実施形態のトランジスタにおいて、第二導電型のチャネル形成領域のうちチャネル不純物濃度調整領域を除いた領域における第二導電型のネット不純物濃度の平均値は典型的には  $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以上である。

#### 【0105】

また、通常短チャネル（典型的にはゲート長 0.1  $\mu\text{m}$  以下）のトランジスタでは、 $V_{\text{corner}}$ 、 $V_{\text{side}}$  は少し小さくなることを考慮すると、短チャネルのトランジスタに対しては、本発明は、典型的には、チャネル不純物濃度調整領域が設けられない場合に半導体層中の不純物濃度の平均値が  $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以上であるトランジスタの性能を改善するために適用され、従って短チャネルの本実施形態のトランジスタにおいて、第二導電型のチャネル形成領域のうちチャネル不純物濃度調整領域を除いた領域における第二導電型のネット不純物濃度の平均値は典型的には  $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以上である。

#### 【0106】

但し、本明細書において以下の用語は以下の意味に用いる。「第二導電型のネット不純物濃度」とは、第二導電型不純物濃度（n チャネルトランジスタの場合は活性化したアク



セプタイオンの濃度) から第一導電型の不純物濃度 ( $n$ チャネルトランジスタの場合は活性化したドナーの濃度) を引いた値をいう。また、「第二導電型であるチャネル形成領域」とは、半導体層 3 のうちゲート電極に覆われた領域で第二導電型の領域、半導体層 3 のうちソース/ドレイン領域に挟まれた領域で第二導電型の領域、の二つの領域のうちで、その体積が他者よりも大きくないほうの領域を言う。但し、「第二導電型の領域」とは、活性化した第二導電型不純物の濃度が、活性化した第一導電型不純物の濃度を上回る領域をいう。通常の  $\text{FinFET}$  においては、ソース/ドレイン領域の端部がゲート電極に覆われているため、「ゲート電極に覆われた領域で第二導電型の領域」と「ソース/ドレイン領域に挟まれた領域で第二導電型の領域」は同義であるが、両者が異なる場合には、両者のうち体積が小さい領域を上述のように「第二導電型であるチャネル形成領域」とする。また、第一導電型とはソース/ドレイン領域の導電型を、第二導電型とはソース/ドレイン領域とは異なる導電型をいう。

#### 【0107】

チャネル不純物濃度調整領域 10 の深さ  $H_{\text{top}}$  は、通常は半導体層の高さ  $H_{\text{fin}}$  (図 3 2、図 3 3 参照) の半分以上である。但し、 $H_{\text{fin}}$  が非常に小さいトランジスタ (典型的には  $H_{\text{fin}}$  が 40 nm 以下) では、 $H_{\text{top}}$  は  $H_{\text{fin}}$  の半分以上であっても良い。

#### 【0108】

また、チャネル不純物濃度調整領域 10 は半導体層のうち、電界集中により半導体層の電位上昇が起きる領域 ( $H_{\text{corner}}$  と記す。典型的には、寄生トランジスタによる漏れ電流における 1 桁の増加に相当する、60 mV 以上の電位上昇がある領域。) に設けられることが望ましい。これについて図 6 9 を参照して説明する。チャネル不純物濃度調整領域 10 の深さ  $H_{\text{top}}$  が  $H_{\text{corner}}$  を越えた場合には、電位分布が図 6 9 の曲線 (c) のようになり、電位を低下させる作用が強くなりすぎ、半導体側面の電位が下がりすぎる。電位が下がりすぎるとチャネルの形成が阻害されるので、ドレイン電流が低下するという問題が発生する。従って、 $H_{\text{top}}$  は  $H_{\text{corner}}$  よりも小さいことが好ましい。

#### 【0109】

そこで、 $H_{\text{corner}}$  の大きさについて計算より求めた。図 6 0 は、半導体層の幅  $W_{\text{fin}}$  (図 3 2、図 3 3 参照) と電界集中が起きる深さ  $H_{\text{corner}}$  の関係を示すシミュレーション結果である。ここで深さとは、基体平面に垂直な方向に沿った半導体層上端からその下方の任意の点までの長さをいう。 $H_{\text{corner}}$  は、トライゲート構造の  $\text{FinFET}$  の半導体層側面における電位が、側面における最低値 (通常は半導体層の高さ  $H_{\text{fin}}$  の半分よりも深い位置における電位) から 60 mV 以上 (寄生トランジスタによって漏れ電流が 1 桁増加する電位に相当) 上昇する領域の深さとした。半導体層のチャネル形成領域中において、第二導電型不純物の濃度は均一とした。 $W_{\text{fin}}$  を変えてもしきい値電圧が変化しないように、各  $W_{\text{fin}}$  の  $\text{FinFET}$  のチャネル形成領域における、第二導電型不純物の濃度は  $W_{\text{fin}}$  に反比例するように設定した。この図において  $H_{\text{corner}}$  は  $W_{\text{fin}}$  に比例しており (比例係数 0.7)、半導体層の幅  $W_{\text{fin}}$  の 0.7 倍の深さまで電界集中が起こることがわかる。この観点から、チャネル不純物濃度調整領域の深さ  $H_{\text{top}}$  は、半導体層の幅  $W_{\text{fin}}$  の 0.7 倍以下であることが好ましい。

#### 【0110】

一方、 $H_{\text{top}}$  が小さすぎると、図 7 0 に示すように、半導体層のごく上部だけで電位上昇が抑制されることになり、電界集中が起きる深さ全体にわたって電位上昇を抑制することができなくなる (図 7 0 の曲線 (c))。電界集中が起きる深さ全体にわたって電位上昇を必要な程度まで抑制するには、 $H_{\text{top}}$  は  $H_{\text{corner}}$  の  $1/4$  以上であることが好ましく、 $H_{\text{corner}}$  の  $1/2$  以上であることがより好ましい。従って、図 6 0 との関係を含わせて考えると、 $H_{\text{top}}$  は  $W_{\text{fin}}$  の  $7/40$  倍以上が好ましく、 $W_{\text{fin}}$  の  $7/20$  倍であることがより好ましい。

#### 【0111】

$\text{FinFET}$  を完全空乏化型動作させるためには、 $W_{\text{fin}}$  の幅は通常 35 nm 以下であるから、 $H_{\text{top}}$  は典型的には 24.5 nm 以下である。また、製造方法における容易性が

らはHtopは5 nm以上が好ましい。従ってHtopは典型的には5 nmから24.5 nmである。製造方法の容易性（製造の観点からは、Htopが大きいほうが作りやすい。）と効果の兼ね合いと考えると、好ましくは10 nmから20 nmの範囲であり、最も典型的なHtopの値は10 nmである。

#### 【0112】

なお、チャネル形成領域における不純物濃度が低い場合には、上部コーナー部における電位上昇は少ないので、チャネル不純物濃度調整領域10の形成は、チャネル形成領域における第2導電型のネット不純物濃度の平均値が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である場合に特に効果的である。

#### 【0113】

不純物分布が滑らかに変化する場合における、チャネル不純物濃度調整領域10の深さ(Htop)の定義を、図61から図68を参照して説明する。図61から図68は、横軸にFinFETの半導体層3上端から見た深さ方向の位置、縦軸に第2導電型ネット不純物濃度を取り、半導体層における縦方向（基板に垂直方向）の不純物濃度分布を描いたものである。なお縦軸の第2導電型ネット不純物濃度とは、各深さ方向の位置において、第2導電型のチャネル形成領域内の、基板平面と平行な断面における第2導電型ネット不純物濃度の平均値である。

#### 【0114】

半導体層の上部に位置するチャネル不純物濃度調整領域10の深さHtopは、不純物濃度ピーク位置より下方（図中の右方向）で不純物濃度ピークの高さ(Np)が半分になる位置の、半導体層3の上面からの深さである（図61、図62）。これは、Htopを上述のようにとると、不純物濃度が滑らかに変化する場合と、不純物濃度が階段状に変化する場合との間で、同一のHtopに対する電位分布がほぼ等しくなるというシミュレーション結果に基づく。但し、不純物濃度ピークの高さ(Np)とは、不純物濃度の最大値と、不純物濃度ピークの基準レベルとの差である。不純物濃度ピークの基準レベルとは、不純物濃度ピーク位置よりも下方（深さ方向）で、不純物濃度が最小になる位置における不純物濃度である。

#### 【0115】

なお、図63のような不純物濃度ピークが複数ある場合、不純物濃度ピークの高さ(Np)は、最も不純物濃度が高い不純物濃度ピークに基づく。

#### 【0116】

また、半導体層の下部界面近傍のごく一部の領域で、第2導電型不純物濃度が低下する場合があるが、このような領域の不純物濃度は不純物濃度ピークの基準レベルの決定には含めない。具体的には、下部界面近傍でネット不純物濃度の深さ方向位置依存性が、上に凸な曲線となる領域（ネット不純物濃度の深さ方向位置による2次の微分が負となる領域。上に突起するという意味ではない。）における不純物濃度は、不純物濃度ピークの基準レベルの決定から除外する（図64、図65参照）。

#### 【0117】

また、後述の第三実施形態に従い、半導体層の上端部と下端部にチャネル不純物濃度調整領域10（それぞれ上部チャネル不純物濃度調整領域19、下部チャネル不純物濃度調整領域11）が設けられる場合、下部チャネル不純物濃度調整領域11の高さHtop2は、不純物濃度ピーク位置より上方（図中の左方向）で不純物濃度ピークの高さが半分になる位置の、半導体層3に対する基体平面位置（半導体層が支持基板上の埋め込み絶縁膜上に設けられている場合は半導体層の下端と埋め込み絶縁膜との界面）からの距離である（図66）。但し、下部チャネル不純物濃度調整領域11の不純物濃度ピークの高さ(Np2)とは、半導体層の中央よりも下方（図中では右方向）に位置する不純物濃度ピークにおける不純物濃度の最大値と、前記不純物濃度ピークの基準レベルとの差である。

#### 【0118】

なお、半導体層の下部界面近傍のごく一部の領域で第2導電型不純物濃度が不純物の偏析などにより上昇する場合、あるいは意図的に半導体層の下部に不純物を導入した場合で



、半導体層の中央より下方に位置する不純物濃度ピークの高さが $N_p/2$ を越えない場合は、下部チャンネル不純物濃度調整領域があるとみなさない（図67参照）。

#### 【0119】

また、不純物濃度が $N_p/2$ または $N_{p2}/2$ となる位置が複数ある場合、不純物濃度ピークの基準レベルまで不純物濃度が低下する位置に最も近い位置をもって $H_{top}$ または $H_{top2}$ を決定する（図68）。

#### 【0120】

##### [製造方法]

（第一実施形態の第一の製造方法）

図1、図2、図3、図4、図5を参照して第一実施形態の第一の製造方法について説明する。図2(a)、図3(a)、図4(a)はそれぞれ図2(c)、図3(c)、図5のA-A'断面における断面図であり、従来例を示す平面図である図31のA-A'断面に相当する位置における断面の形状を工程の順を追って描いたものである。また、図2(b)、図3(b)、図4(b)はそれぞれ図2(c)、図3(c)、図5のB-B'断面における断面図であり、従来例を示す平面図である図31のB-B'断面に相当する位置における断面の形状を工程の順を追って描いたものである。

#### 【0121】

第一実施形態の電界効果型トランジスタを製造するためには、基板の半導体層38をパターニングして基板表面から突起する半導体層3を形成し、半導体層3の上部の領域に対してイオン注入などの不純物導入工程によって不純物を導入する。これによって半導体層3のうち上部に、半導体層3の他の領域よりも不純物濃度が高い第二導電型の不純物が導入されたチャンネル不純物濃度調整領域10を設ける（図2）。次に半導体3の側面にゲート絶縁膜4を形成し、ゲート電極材料を堆積したのち、ゲート電極材料をRIE（リアクティブ・イオン・エッチング）等によりパターニングすることによってゲート電極5を形成し、半導体層3のうちゲート電極5に覆われていない領域に高濃度の第一導電型不純物を導入してソース/ドレイン領域6を形成する（図3）。その後層間絶縁膜を堆積して、通常の方法によりソース/ドレイン領域6およびゲート電極5に対してコンタクト17及び配線18を形成する（図4、図5）。

#### 【0122】

半導体層3（チャンネル不純物濃度調整領域10を除く領域を含む）には、適当な時点（例えば、チャンネル不純物濃度調整領域10をイオン注入する工程の前後、あるいは基板表面から突起した半導体層3をパターニングにより形成する前、など）に実施する不純物導入工程により、低濃度の第二導電型不純物が導入される。

#### 【0123】

ここで、第一実施形態の典型的な構造（第二導電型であるチャンネル形成領域7において半導体層3の上端から深さ $H_{top}$ の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値は、典型的には半導体層3の上端から深さ $H_{top}$ の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値の1.3倍から4倍の範囲、より典型的には第二導電型であるチャンネル形成領域7において半導体層3の上端から深さ $H_{top}$ の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値は、典型的には半導体層3の上端から深さ $H_{top}$ の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値の1.5倍から3倍の範囲）を満たすように、チャンネル不純物濃度調整領域10の深さ及び不純物濃度を設定することにより、第一実施形態の典型的な構造を製造することができる。

#### 【0124】

（第一実施形態の第一の製造方法の実施例）

第一実施形態の第一の製造方法について、図1から図5を参照してより具体的に実施例を説明する。

#### 【0125】

シリコンよりなる支持基板1、その上に $SiO_2$ 等の絶縁体よりなる埋め込み絶縁層2、さらにその上に単結晶シリコンよりなる半導体層38が積層したSOI基板（図1）に

において、通常のリソグラフィ工程及びR I E等の通常のエッチング工程により、半導体層 38 をパターンニングし適当な形状に加工し、基板から突起した半導体層 3 よりなる素子領域を形成する。中程度のエネルギーで半導体層の全体に第二導電型不純物をイオン注入する第一のチャネルイオン注入工程を実施したのち、低エネルギーで半導体層の表面に第二導電型不純物をイオン注入する第二のチャネルイオン注入工程を実施する。なお、第二のチャネルイオン注入工程は第一のチャネルイオン注入工程に比べて注入深さが浅く、チャネル不純物濃度調整領域 10 が形成される領域に注入される。この工程を経て、半導体層 3 の上部には、半導体層 3 の他の部分よりも不純物濃度が高いチャネル不純物濃度調整領域 10 が形成される (図 2)。

#### 【0126】

次に半導体層 3 の側面にゲート絶縁膜 4 を設けたのち、ポリシリコンを堆積し、これを通常のリソグラフィ工程及びR I E工程によりエッチングすることによりパターンニングしてゲート電極を形成し、続いて、ゲート電極をマスクに高濃度のイオン注入を行い、熱処理を行うことにより、ゲート電極に覆われない位置の半導体層 3 にソース／ドレイン領域 6 を設け、図 3 の形状を得る。なお、ゲート絶縁膜は、例えば半導体層 3 を熱酸化することによって設ける。また、ソース／ドレイン領域は垂直方向のイオン注入、斜めイオン注入あるいはプラズマドーピング等の不純物導入工程によって不純物を導入することにより形成する。

#### 【0127】

続いて、全体に絶縁膜を堆積してこれをエッチバックすることにより、ゲート側壁 14 を設ける。ゲート側壁 14 をなす絶縁膜は、例えば  $\text{SiO}_2$  単層膜、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  単層膜、 $\text{SiO}_2$  及び  $\text{Si}_3\text{N}_4$  からなる多層膜などの絶縁膜を用いる。また、ゲート側壁 14 をなす絶縁膜はCVD法等の製膜技術によって形成する。続いてソース／ドレイン領域 6 の上部、及びゲート電極 5 の上部に金属を堆積し、熱処理することにより、ソース／ドレイン領域 6 の上部及びゲート電極 5 の上部にシリサイド層 15 を形成する。続いて、層間絶縁膜 16 を堆積し、これを平坦化したのち、ソース／ドレイン領域 6 上部、及びゲート電極 5 の上部にコンタクトホールを開口し、金属を埋め込むことによりコンタクト 17 を形成し、金属よりなる配線 18 をコンタクト 17 に接続し、図 4 及び図 5 の形状を得る。なお、コンタクト領域への金属の埋め込みと配線となる金属の堆積は同時に行っても良い。なお、コンタクト 17 は配線 18 の下部に位置するが、図 5 においてはその位置を透視的に示した。

#### 【0128】

なお、第一のチャネルイオン注入工程、またはチャネル不純物濃度調整領域 10 を形成するための第二のチャネルイオン注入工程は、半導体層 38 をパターンニングし適当な形状に加工し、基板から突起した半導体層 3 よりなる素子領域を形成する工程よりも前に実施しても良い。

#### 【0129】

ここで、チャネル不純物濃度調整領域 10 の深さ及び不純物濃度は、第一実施形態の典型的な構造を満たすように設定される。

#### 【0130】

(第一実施形態の第二の製造方法)

図 6、図 7、図 8 を参照して第一実施形態の第二の製造方法について説明する。図 6 (a)、図 7 (a)、図 8 (a) はそれぞれ図 6 (c)、図 7 (c)、図 8 (c) の A-A' 断面における断面図であり、従来例を示す平面図である図 31 の A-A' 断面に相当する位置における断面の形状を工程の順を追って描いたものである。また、図 6 (b)、図 7 (b)、図 8 (b) はそれぞれ図 6 (c)、図 7 (c)、図 8 (c) の B-B' 断面における断面図であり、従来例を示す平面図である図 31 の B-B' 断面に相当する位置における断面の形状を工程の順を追って描いたものである。

#### 【0131】

第一実施形態の電界効果型トランジスタを製造するためには、まず、基板の半導体層 3

8をパターニングして基板表面から突起する半導体層3を形成する(図6)。次に半導体層3の側面にゲート絶縁膜4を形成し、ゲート電極材料を堆積したのち、ゲート電極材料をRIE(リアクティブ・イオン・エッチング)等によりパターニングすることによって半導体層3を跨ぐゲート電極5を形成する(図7)。そしてゲート電極をマスクに斜めイオン注入を行うと、半導体層3の上部に半導体層3の他の領域よりも第二導電型不純物濃度が高いチャンネル不純物濃度調整領域10が形成される。次に半導体層3のうちゲート電極5に覆われていない領域に高濃度の第一導電型不純物を導入してソース/ドレイン領域6を形成する(図8)。その後層間絶縁膜を堆積して、通常の方法によりソース/ドレイン領域6およびゲート電極5に対してコンタクト17及び配線18を形成する(不純物分布が以下に述べるようにやや異なることを除き、得られる形態は図4及び図5に同じ。但し、以下に述べるようにチャンネル不純物濃度調整領域10内部で不純物濃度が位置により変化する特徴を持つ場合がある。)

#### 【0132】

半導体層3(チャンネル不純物濃度調整領域10を除く領域を含む)には、適当な時点(例えば基板表面から突起する半導体層3をパターニングにより形成する前後)に実施する不純物導入工程により、低濃度の第二導電型不純物が導入される。第一実施形態の第二の製造方法においては、チャンネル不純物濃度調整領域10は斜めイオン注入によって形成するため、チャンネル不純物濃度調整領域10内およびその近傍における不純物分布が、第一実施形態の第一の製造方法による場合とやや異なるが、半導体層3の上部に第一実施形態の典型的な構造を満たすチャンネル不純物濃度調整領域10が形成される。但し、第一実施形態の第二の製造方法においては斜めイオン注入によってチャンネル不純物濃度調整領域10を形成するため、イオン注入の条件によっては、チャンネル不純物濃度調整領域10内において、チャンネル長方向(二つのソース/ドレイン領域を結ぶ方向)に不純物濃度が変化する不純物分布を持つことがある。

#### 【0133】

ここで、第一実施形態の典型的な構造を満たすように、チャンネル不純物濃度調整領域10の深さ及び不純物濃度を設定することにより、第一実施形態の典型的な構造を製造することができる。

#### 【0134】

また、この製造方法には置換ゲートプロセスを適用しても良い。すなわち、ここに述べた製造方法において、ゲート電極のかわりに半導体層3をまたぐダミーゲート電極を加工したのち、ダミーゲート電極をマスクに斜めイオン注入を行い、半導体層3の上部に半導体層3の他の領域よりも第二導電型不純物濃度が高いチャンネル不純物濃度調整領域10を形成し、適当な段階において、例えばゲート電極を覆う層間絶縁膜を形成したのち、ダミーゲートを除去する工程を実施し、ダミーゲートが除去されて形成された空洞部に導電性の材料を埋め込み、ゲート電極を形成する製造工程を実施する方法を用いても良い。

#### 【0135】

(第一実施形態の第二の製造方法の実施例)

第一実施形態の第二の製造方法について、図6、図7、図8を参照してより具体的な実施例を説明する。

#### 【0136】

シリコンよりなる支持基板1、その上にSiO<sub>2</sub>等の絶縁体よりなる埋め込み絶縁層2、さらにその上に単結晶シリコンよりなる半導体層38が積層したSOI基板(形態は図1に同じ)において、通常のリソグラフィ工程及びRIE等の通常のエッチング工程により、半導体層38をパターニングし適当な形状に加工し(図6)、基板から突起した半導体層3よりなる素子領域を形成する。半導体層3の全体に不純物が導入できる程度のエネルギー(例えば第一実施形態の第一の製造方法の第一のチャンネルイオン注入と同じエネルギー)で半導体層3に第二導電型不純物をイオン注入するチャンネルイオン注入工程を実施する。

#### 【0137】

次に半導体層 3 の側面にゲート絶縁膜 4 を設けたのち、ポリシリコンを堆積し、これを通常のリソグラフィ工程及び R I E 工程によりエッチングすることによりパターンニングして半導体層 3 を跨ぐゲート電極 5 を形成し、そしてゲート電極をマスクに基板平面およびチャネル長方向に垂直な平面に対して角度を持たせて斜めイオン注入を行うと（図 8 参照。基板平面およびチャネル長方向に垂直な平面に対して  $+\theta$  及び  $-\theta$  の角度を持たせる場合を例示。）、半導体層 3 の上部に半導体層 3 の他の領域よりも第二導電型不純物濃度が高いチャネル不純物濃度調整領域 10 が形成される。

#### 【0138】

この斜めイオン注入が基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対する角度（図 78（c）における角度  $\psi$ ）を持つ場合は、後述するようにハロー領域を形成する機能を兼ねることになるが、半導体層 3 の上部にチャネル不純物濃度調整領域 10 を形成することを主目的にする場合は、基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対して平行に行われることが最も望ましい。また、平行ではなくとも、基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対する角度（図 78（c）における角度  $\psi$ ）が 10 度以内であれば、ハロー領域を形成する機能は弱いので、半導体層 3 の上部にチャネル不純物濃度調整領域 10 を形成することを主目的にする場合は、基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対する角度が 10 度以内であることが望ましい。

#### 【0139】

続いて、ゲート電極 5 をマスクに高濃度のイオン注入を行い、熱処理を行うことにより、ゲート電極に覆われない位置の半導体層 3 にソース／ドレイン領域 6 を設け、図 8 の形状を得る。なお、ゲート絶縁膜は、例えば半導体層 3 を熱酸化することによって設ける。また、ソース／ドレイン領域は垂直方向のイオン注入、斜めイオン注入あるいはプラズマドーピング等の不純物導入工程によって第一導電型の不純物を導入することにより形成する。

#### 【0140】

続いて、全体に絶縁膜を堆積してこれをエッチバックすることにより、ゲート側壁 14 を設ける。ゲート側壁 14 をなす絶縁膜は、例えば  $\text{SiO}_2$  単層膜、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  単層膜、 $\text{SiO}_2$  及び  $\text{Si}_3\text{N}_4$  からなる多層膜などの絶縁膜を用いる。また、ゲート側壁 14 をなす絶縁膜は C V D 法等の製膜技術によって形成する。続いてソース／ドレイン領域 6 の上部、及びゲート電極 5 の上部に金属を堆積し、熱処理することにより、ソース／ドレイン領域 6 の上部及びゲート電極 5 の上部にシリサイド層 15 を形成する。続いて、層間絶縁膜 16 を堆積し、これを平坦化したのち、ソース／ドレイン領域 6 上部、及びゲート電極 5 の上部にコンタクトホールを開口し、金属を埋め込むことによりコンタクト 17 を形成し、金属よりなる配線 18 をコンタクト 17 に接続する（不純物分布がやや異なることを除き、得られる形態は図 4 及び図 5 に同じ）。なお、コンタクト領域への金属の埋め込みと配線となる金属の堆積は同時に行っても良い。なお、コンタクト 17 は配線 18 の下部に位置するが、図 5 においてはその位置を透視的に示した。

#### 【0141】

なお、図 78 に示すように、ゲート電極をマスクに斜めイオン注入を行う際に、ハロー領域を形成する機能を積極的に持たせる場合には、ウエハと垂直な面内に角度（図 8 において、 $+\theta$ 、 $-\theta$ 。これらは基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な面内における基板平面の垂線に対する角度）を持たすだけでなく、ウエハの面内においても角度（図 78（c）において、 $+\psi$ 、 $-\psi$ 、 $180^\circ + \psi$ 、 $180^\circ - \psi$ 。これらは基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対する角度。）を持たせてイオン注入してもよい（図 78（c））。ウエハ面内に角度を持たせるイオン注入は、通常の平面型の電界効果型トランジスタにおいて、ハロー領域を形成するための斜めイオン注入に相当する。ここで、ウエハ面内に角度を持たせることにより、ハローイオン注入の効果と、半導体層の上部にチャネル不純物濃度調整領域を形成する効果との、二つの効果を同時に得ることができる。この場合に、 $\psi$  の典型的な大きさは 20 度から 70 度である。

#### 【0142】

また、ウエハと垂直な面内に角度を持つ一方、基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に平行な第一の斜めイオン注入（図 8 に例示するイオン注入）と、ウエハと垂直な面内に角度を持ち、ウエハ面内ではチャネル長方向に対して角度を持つ第二の斜めイオン注入（図 7 8 に例示するイオン注入）の双方を実施しても良い。これは、通常のパローイオン注入の役割（短チャネル効果の抑制）を第二のイオンイオン注入に持たせるとともに、寄生トランジスタを抑制できるチャネル不純物濃度調整領域の形成に十分な不純物を半導体層の上部に導入する役割を、第一のイオン注入に持たせるものであり、短チャネルの FinFET の形成に特に有効である。

#### 【0143】

また、ウエハと垂直な面内に角度を持ち、基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に平行ではない第一の斜めイオン注入と、ウエハと垂直な面内に角度を持ち、基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対して第一の斜めイオン注入よりも大きな角度を持つ第二の斜めイオン注入を実施しても良い。第一のイオン注入が寄生トランジスタを抑制できるチャネル不純物濃度調整領域の形成に十分な不純物を半導体層の上部に導入する役割を持ち、第二の斜めイオン注入が通常のパローイオン注入の役割を持つことは、前に述べた第一の斜めイオン注入が基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に平行な場合と同じである。なお、この場合においても、チャネル不純物濃度調整領域の形成という観点からは第一の斜めイオン注入の基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対する角度は、10 度以下であることが好ましい。

#### 【0144】

なお、斜めイオン注入のエネルギーが低い場合、あるいは角度  $\theta$  が小さい場合には、チャネル形成領域を挟んだ二つのソース／ドレイン領域の近傍に、二つのチャネル不純物濃度調整領域がそれぞれ隣接して、また二つのチャネル不純物濃度調整領域が明確に分離して形成される場合があるが、このような状態については第二実施形態において説明する。

#### 【0145】

ここで、チャネル不純物濃度調整領域 10 の深さ及び不純物濃度は、第一実施形態の典型的な構造を満たすように設定される。

#### 【0146】

##### 〔効果〕

第一実施形態を n チャネルの電界効果型トランジスタ（図 3、図 4、図 5 の構造）に適用した場合のトランジスタ特性についてシミュレーションした結果を図 9 に示す。第二導電型であるチャネル形成領域における半導体層 3 の上端から深さ 10 nm の領域におけるアクセプタ不純物濃度の平均値  $N_{top}$  を、第二導電型であるチャネル形成領域のうち、半導体層 3 の上端から深さ 10 nm の領域を除いた領域におけるアクセプタ不純物濃度の平均値  $N$  で割った値  $N_{top}/N$  を横軸とし、オン電流（ゲート電極にオン状態の電圧を印加した場合のドレイン電流）を縦軸とした。各水準のオフ電流（ゲート電圧をゼロボルトとした時のドレイン電流）が同一になるように、各水準のしきい値電圧を設定している。なお、半導体層のチャネル領域中にドナー不純物は導入されていない。

#### 【0147】

半導体層全体で不純物濃度が均一である場合（ $N_{top}/N = 1$ ）は、オン電流が低い。この場合、半導体層 3 の上部コーナー部 34 において電位が上昇して寄生トランジスタが発生し、オフ電流が増加している。従って図 9 のようにオフ電流を一定にしてオン電流を比較すると、オン電流は低い。

#### 【0148】

また、 $N_{top}/N$  が非常に高い場合（例えば  $N_{top}/N = 6$  の場合）、半導体層 3 の上端部はチャネルとして動作しない。この場合、寄生トランジスタが抑制されるのでオフ電流は抑制されるが、半導体層上面 23 及び半導体層上部側面 24 において（図 3 9 参照）チャネルが形成されなくなるのでドレイン電流が減少する。この条件は特許文献 1 に記載される構造に対応すると考えられる。

#### 【0149】

オン電流は $N_{top}$ が $N$ の2倍の時に最大となる。この条件付近においては、半導体層上面23及び半導体層上部側面24にはチャネルが形成され、かつ寄生トランジスタが抑制されるという作用が働いている。したがってオフ電流の抑制とオン電流の向上が両立し、オン電流が向上する。 $N_{top}$ が $N$ の2倍の場合には、この作用が最も顕著になり、最大の効果が得られる。また、 $N_{top}$ が $N$ の1.5倍から3倍の範囲では、最大の効果に対して75%の効果が得られ、十分な作用が得られる。また、 $N_{top}$ が $N$ の1.3倍から4倍の範囲では、最大の効果に対して50%の効果が得られ、実用上有効な作用が得られる。

#### 【0150】

半導体層側面に形成されるチャネルの電子濃度に対する、半導体層上面に形成されるチャネルの電子濃度の比を計算した結果を図10に示す。横軸は $N_{top}/N$ 、縦軸は $n_{top}/n_{side}$ とした。ここで $n_{top}$ は半導体層上面におけるチャネルキャリアである電子の濃度、 $n_{side}$ は半導体層側面におけるチャネルキャリアである電子の濃度である。 $n_{top}$ は、半導体層3の上面において、 $F_{in}$ 幅方向(図3(a)の断面における左右方向)における中央の位置における値、 $n_{side}$ は半導体層3の側面において、基板平面に垂直方向(図3(a)の断面における上下方向)における中央の位置における値である。図10の結果を外挿すると、 $N_{top}/N$ が4を越えると半導体層上面の電子濃度がほぼゼロになる。すなわち、半導体層上面にチャネルが形成されなくなる。 $N_{top}/N$ を4以下の範囲にする半導体層上面にもチャネルが形成されることになるが、 $N_{top}/N$ が4以下であるという条件は、図9においてオン電流増大効果が50%以上となる範囲の上限に一致している。また、 $N_{top}/N$ がほぼ3以下となる範囲では、オン電流が最大となる条件である(図9参照)  $N_{top}/N=2$ の場合の $n_{top}$ に対して、50%以上のキャリアが半導体層上面に誘起される。この条件は、図9においてオン電流増大効果が75%以上となる範囲の上限に一致している。

#### 【0151】

なお、ここで $N_{top}$ は半導体層上面で $F_{in}$ 幅方向( $W_{fin}$ 方向)中央の位置において求めたが、この位置は、半導体層の上部の不純物濃度を高くした場合に、最もチャネルが形成されにくくなる位置であるので、この位置においてチャネルが形成される条件を用いれば、チャネル不純物濃度調整領域の上面、及び側面の全体にチャネルが形成される。なお、ここで「上面、側面にチャネルが形成される」とは、上面、側面に面した半導体層の一定の深さの範囲にチャネルキャリアが誘起されることを言う。

#### 【0152】

従って、半導体層上面にチャネルキャリアを誘起し、半導体上面をチャネルとして機能させるためには、 $N_{top}/N$ が4以下であることが望ましい。また、半導体層上面に十分なチャネルキャリアを誘起し、半導体上面をチャネルとして十分に動作させるためには、 $N_{top}/N$ が3以下であることが望ましい。

#### 【0153】

また、特許文献1に記載される素子構造では、半導体層上端部の $p^+$ 領域20ではチャネルが形成されないの、 $p^+$ 領域20の上面(図39の半導体層上面23)だけでなく、 $p^+$ 領域20の側面(図39の半導体層上部側面24)にもチャネルは形成されないと考えられる。一方、半導体層上面にチャネルが形成される上記条件( $N_{top}/N$ が4以下、より典型的には $N_{top}/N$ が3以下)を用いると、半導体層上部側面24にもチャネルが形成される。したがって半導体層上部側面24にチャネルが形成される分だけ、オン電流が増す効果も得られる。

#### 【0154】

また、単に半導体層上端部に $p^+$ 領域20を設けるなどの手段によって、上部コーナ部の寄生トランジスタを抑制する従来技術では、半導体上端部の不純物濃度が高い部分の全体に空乏層が延びず、半導体上端部の不純物濃度が高い部分の内部に中性領域が形成される。一方、 $F_{in}FET$ においては、少なくともトランジスタがオンした状態(ゲート電極にしきい値電圧以上の電圧が印加された状態)において、半導体層が完全に空乏化し、半導体層の中に中性領域が形成されないという条件(この条件を満たす場合、完全空乏



化型の電界効果型トランジスタと呼ばれる)を満たすことが望ましい。しかし、一般に半導体層に導入される不純物濃度が高くなると、中性領域が形成されやすくなる。これに対して本実施形態に記載する条件に従えば、寄生トランジスタの抑制に必要なだけの深さ及び不純物濃度で、チャネル不純物濃度調整領域を半導体層の上部に形成できるので、必要以上の不純物が半導体層の上部に導入されることを防ぎ、半導体層全体を空乏化させることが容易になる。中性領域が形成されると、半導体層中に余剰なキャリアが蓄積して電流が変動する基板浮遊効果と呼ばれる異常動作や起こりやすくなるが、本発明によれば寄生トランジスタを抑制すると同時にトランジスタを完全空乏化動作させることが可能になり、この問題を防ぐことができる。また、サブスレッショルドにおいても完全空乏化動作させることにより、Sファクタ(ドレイン電流を1桁変化させるために必要なゲート電圧の変動)を低減し、オン・オフ遷移を急峻化させることができる。

#### 【0155】

なお、図10はゲート電極にオン電圧を印加した状態での結果である。ここではnチャネルトランジスタについて計算したので、オン電圧の印加とはゲートに電源電圧を印加した状態について計算した。pチャネルトランジスタの場合、オン電圧の印加とはソースに電源電圧を印加した状態で、ゲートに接地電圧を印加した状態をいう。複数の電源電圧をもつデジタル回路の場合は、nチャネルトランジスタの場合はゲートにHレベル(高レベル)の電圧が印加された場合、pチャネルトランジスタの場合は、ゲートにLレベル(低レベル)の電圧が印加された場合である。アナログ回路の場合は、トランジスタのゲートに最大のレベルの信号が印加された状態である。本発明においては、ゲート電極にオン電圧を印加した状態において、半導体層上部側面24及び半導体層上面23にチャネルが形成されるので、高いオン電流が得られる。

#### 【0156】

(第二実施形態)

[構造]

第二実施形態においては、半導体層の上端部のうち一部の領域においてのみ、不純物濃度の高い領域が設けられる。これについて図11、図12、図13、図17、図19、図81及び図82を参照して説明する。なお、図11、図12、図13、図81及び図82は従来例を示す図31の平面図に対応する平面図である。但し、説明の便宜を図るためにゲート電極5に覆われた半導体層3の一部の領域である、チャネル不純物濃度調整領域10及び上部コーナー部近傍領域37を透視的に描いている。また、図17(a)、図19(a)はそれぞれ、従来例を示す平面図である図31のA-A'断面に相当する位置における断面図である。また、図17(b)、図19(b)はそれぞれ、従来例を示す平面図である図31のB-B'断面に相当する位置における断面図である。

#### 【0157】

本実施形態においては基板から上方に突起した半導体層3が設けられ、半導体層の側面にはゲート絶縁膜4を介してゲート電極5が設けられる。ゲート電極5は適当な寸法にパターンニングされており、ゲート電極に覆われない位置の半導体層には第一導電型の不純物が高濃度に導入されたソース/ドレイン領域6が形成される。ゲート電極5に覆われた半導体層であるチャネル形成領域7には、ゲート電極5に適当な電圧を印加することにより第一導電型のキャリアよりなるチャネルが形成される。ゲート電極5及びソース/ドレイン領域6にはコンタクト17を介して配線18が接続される。

#### 【0158】

チャネル形成領域7をなす半導体層3の上端からある範囲(深さH<sub>top</sub>)にわたって設けられるチャネル不純物濃度調整領域10は、チャネル不純物濃度調整領域10を除く半導体層3よりも高濃度の第二導電型不純物が導入される。第二実施形態においてはチャネル不純物濃度調整領域10は半導体層の上部コーナー部を含む一部の領域に形成されれば良い。図11の平面図においては、二本の太い破線で示した位置(記号37)が半導体層3の二つの上部コーナー部に相当するので、この二本の破線で示された領域の少なくとも一部をそれぞれ含む一部の領域にだけチャネル不純物濃度調整領域10が設けられれば良



い。

#### 【0159】

図12(a)及び図17は第二実施形態の一例であり、半導体層3の上端部のうち、半導体層3の上部コーナー部とその近傍だけにチャネル不純物濃度調整領域10が設けられ、半導体層の上端であっても上部コーナー部から離れた位置にはチャネル不純物濃度調整領域10が設けられない場合である。

#### 【0160】

図12(b)及び図19は半導体層の上端部のうちソース／ドレイン領域に接する領域にのみチャネル不純物濃度調整領域10が設けられるものであり、上部コーナー部のうちソース／ドレイン領域に接するある範囲の領域にはチャネル不純物濃度調整領域10が設けられているが、上部コーナー部のうちソース／ドレイン領域から離れた領域にはチャネル不純物濃度調整領域10が設けられない形態である。

#### 【0161】

図13は半導体層の上端部のうち、ソース／ドレイン領域に接する上部コーナー部及びその近傍だけにチャネル不純物濃度調整領域10が設けられる場合である。

#### 【0162】

図81(a), (b)は、それぞれ図12(b)、図13に示した形態において、チャネル不純物濃度調整領域10が一方のソース／ドレイン領域だけに接して設けられた場合である。図82(a), (b)は、二つのソース／ドレイン領域のいずれからも離れた位置においてチャネル不純物濃度調整領域10が設けられた場合であり、図82(a)は二つの上部コーナー部を接続するようにチャネル不純物濃度調整領域10が設けられる場合、図82(b)は上部コーナー部及びその近傍だけにチャネル不純物濃度調整領域10が設けられる場合である。

#### 【0163】

図21は、ハロー領域が形成されたトランジスタにおいて、ソース／ドレイン領域に接する上部コーナー部及びその近傍(図13に示された位置)において、特に不純物濃度が高いチャネル不純物濃度調整領域10が形成された場合である。

#### 【0164】

なお、ハロー領域とは、第二導電型のチャネル領域のうち、ソース／ドレイン領域(あるいはソース／ドレイン領域がチャネル領域に延長されたエクステンションと呼ばれる領域)に接する一部の領域において設けられる領域であり、ハロー領域を除いたチャネル領域よりも第二導電型不純物の濃度が高い領域のことを指す。ハロー領域を設ける一般的な目的は、短チャネル効果(短チャネルトランジスタにおける、しきい値電圧の変動)の改善である。

#### 【0165】

第二実施形態においては、第二導電型であるチャネル形成領域において半導体層3の上端から深さ $H_{top}$ の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値と、半導体層3の上端から深さ $H_{top}$ の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値との比は、第一実施形態における $N_{top}$ と $N$ との比と同じ範囲に設定される。

#### 【0166】

また、第二実施形態においては、第二導電型であるチャネル形成領域において半導体層3の上端から深さ $H_{top}$ の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値と、半導体層3の上端から深さ $H_{top}$ の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値との比は、後述するように第一実施形態とは異なる基準に従って設定されても良い。

#### 【0167】

また、第二実施形態において適用される $H_{top}$ の範囲は、第一実施形態における $H_{top}$ の範囲と同じ範囲に設定される。

#### 【0168】

また、第二実施形態における $H_{top}$ の定義は、第一実施形態において記載したものに従

う。但し、チャネル不純物濃度調整領域の濃度が後述の $N_{top1}$ に関する規定に基づいて設定される時には、 $H_{top}$ は、 $N_{top1}$ を評価する直線上における第二導電型ネット不純物濃度の分布を基に第一実施形態の記載に従って決定する。また、チャネル不純物濃度調整領域の濃度が後述の $N_{top2}$ に関する規定に基づいて設定される時には、 $H_{top}$ は、 $N_{top2}$ を評価する平面における、各深さでの第二導電型ネット不純物濃度の平均値の分布を基に第一実施形態の記載に従って決定する。

#### 【0169】

なお縦軸の第二導電型ネット不純物濃度とは、各深さ方向の位置において、第二導電型のチャネル形成領域内の、基板平面と平行な断面における第二導電型ネット不純物濃度の平均値である。

#### 【0170】

一般的に、第二実施形態では、チャネル不純物濃度調整領域10の不純物濃度は、第一実施形態の場合よりも高くても良い。

#### 【0171】

これは、第二実施形態では半導体層上面、あるいは半導体層上部側面の一部に局所的にチャネル不純物濃度調整領域10が設けられない領域が形成され、この部分がチャネル電流の経路となる（特に図12(a)、図13の構造）ので、チャネル不純物濃度調整領域10の不純物濃度が極めて高く、チャネル不純物濃度調整領域10にチャネルが形成されにくい場合においても、半導体層上面、あるいは半導体層上部側面の一部に局所的にチャネル経路が形成されるので、例えば特許文献1の従来技術と比べて大きなドレイン電流が得られる。但し、この場合においてもチャネル不純物濃度調整領域10の深さは、第一実施形態の場合と同様の範囲にあることが望ましい。

#### 【0172】

また、第二実施形態においても、チャネル不純物濃度調整領域10にチャネルが形成されると、チャネル不純物濃度調整領域10にチャネルが形成されない場合に比べてドレイン電流が増加するので、さらに望ましい。第二実施形態において、チャネル不純物濃度調整領域10にチャネルが形成されるようにするためには、チャネル不純物濃度調整領域10の深さ及び不純物濃度を、前述の第一実施形態のチャネル不純物濃度調整領域10に関する条件を満たすように設定する。

#### 【0173】

すなわち、第二実施形態においても、最も望ましくは、第一実施形態と同じく、第二導電型であるチャネル形成領域において上端から深さ $H_{top}$ の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値は、典型的には第二導電型であるチャネル形成領域のうち上端から深さ $H_{top}$ の範囲を除いた領域における第二導電型のネット不純物濃度の平均値の1.3倍から4倍の範囲に設定する。また、より典型的には第二導電型であるチャネル形成領域において上端から深さ $H_{top}$ の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値は、典型的には第二導電型であるチャネル形成領域のうち上端から深さ $H_{top}$ の範囲を除いた領域における第二導電型のネット不純物濃度の平均値の1.5倍から3倍の範囲に設定する。

#### 【0174】

但し、第二実施形態では、 $N_{top}$ が $N$ の4倍以上に設定される形態であっても良い。これは、第二実施形態では、半導体層の上面あるいは上部側面の一部に、局所的に第二導電型不純物の濃度が低い領域が設けられるため、 $N_{top}$ が $N$ の4倍以上に設定されても、半導体層の上面あるいは上部側面に一定のチャネル電流を流すことができるためである。

#### 【0175】

また、第二実施形態では、 $N_{top}$ が $N$ よりも高ければ、 $N_{top}$ は $N$ の1.3倍以下に設定される形態であっても良い。これは、第二実施形態では、半導体層の上面あるいは上部側面の一部に、局所的に第二導電型不純物の濃度が高いチャネル不純物濃度調整領域が設けられるため、ある一定の深さ（第一実施形態の $H_{top}$ ）までのチャネル形成領域全体の平均値をとると、第一実施形態に規定する $N_{top}$ の範囲を下回る場合があるからである。典

型的な下限として、図13の形態を考えると、チャンネル不純物濃度調整領域10の体積は $4/9$ になるので、 $N_{top}$ の下限は $1.3$ から $1$ を減じて得た差に $4/9$ を乗じ、得た積に $1$ を加えた値である $1.13$ 倍になる。

#### 【0176】

また、第二実施形態では、ある深さまでの半導体層全体の不純物濃度の平均ではなく、局所的に設けられたチャンネル不純物濃度調整領域10内部における不純物濃度が動作を左右するので、第二実施形態の最も好ましい形態として、第一実施形態と同様に、チャンネル不純物濃度調整領域10にも十分なチャンネルを形成し、かつ上部コーナー部の寄生トランジスタを抑制する作用を得るためには、チャンネル不純物濃度調整領域10の不純物濃度について、下記 $N_{top1}$ あるいは $N_{top2}$ が、第一実施形態において $N_{top}$ に対して規定される条件を満たすことが望ましい。

#### 【0177】

また、第二実施形態においては、第二導電型であるチャンネル形成領域のうち上端から深さ $H_{top}$ の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値 $N_{top}$ によってチャンネル不純物濃度調整領域10の不純物濃度を規定することに代えて、チャンネル不純物濃度調整領域10を含むある断面（例えば図12(a)のC-C'断面、図12(b)のD-D'断面）において、チャンネル形成領域のうち上端から深さ $H_{top}$ の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値 $N_{top2}$ によってチャンネル不純物濃度調整領域10の不純物濃度を規定しても良い。この場合、 $N_{top2}$ は $N$ に対して $1.3$ 倍から $4$ 倍の範囲、より典型的には $1.5$ 倍から $3$ 倍の範囲に設定される。

#### 【0178】

また、チャンネル不純物濃度調整領域10に含まれるある点 $p$ における深さ方向の分布（例えば図13の点 $p$ における、半導体層の上端面から下端面に至る分布）において、チャンネル形成領域のうち上端から深さ $H_{top}$ の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値 $N_{top1}$ によってチャンネル不純物濃度調整領域10の不純物濃度を規定しても良い。この場合、 $N_{top1}$ は $N$ に対して $1.3$ 倍から $4$ 倍の範囲、より典型的には $N_{top1}$ が $N$ に対して $1.5$ 倍から $3$ 倍の範囲にあれば、実用上有効な効果が得られる。

#### 【0179】

また、前記 $N_{top1}$ または $N_{top2}$ に関する条件が、一つのチャンネル不純物濃度調整領域10に対してチャンネル長方向に $10\text{ nm}$ 以上にわたって満たされることが望ましい。

#### 【0180】

また、上記 $N_{top1}$ または $N_{top2}$ に関する条件が満たされる形態においては、第二導電型であるチャンネル領域の上端から深さ $H_{top}$ の範囲の第二導電型のネット不純物濃度の平均値 $N_{top}$ が規定の条件を満たさなくても良い。たとえば、 $N_{top}$ は $N$ の $1.3$ 倍以下に設定されても良い。

#### 【0181】

また、上記 $N_{top1}$ に関する条件が満たされる形態においては、 $N_{top2}$ が規定の条件を満たさなくても良い。たとえば、 $N_{top2}$ は $N$ の $1.3$ 倍以下に設定されても良い。

#### 【0182】

本実施形態が適用により特性の改善の対象となるトランジスタ、及び本実施形態のトランジスタにおける、 $V_{side}$ 、 $V_{corner}$ 等の電位差の特徴、チャンネル形成領域における不純物濃度の特徴は、第一実施形態と同様である。

#### 【0183】

すなわち、チャンネル不純物濃度調整領域の不純物濃度は、チャンネル不純物濃度調整領域が設けられない場合に比べて半導体層の上部コーナー部での電位上昇を低減できる $N_{top}$ と $N$ との関係を満たすように設定される。この時、半導体層の上部コーナー部での電位上昇低減量は、典型的には半導体層の上部コーナー部の少なくとも一部の領域で、 $60\text{ mV}$ 以上の低減であることが望ましい。

#### 【0184】

また、本発明は、典型的には、チャンネル不純物濃度調整領域が設けられない場合に半導

体層の上部コーナ部部の少なくとも一部の領域で60 mV以上の電位上昇が起きてしまうトランジスタの特性を改善するために適用される。また、典型的には、チャネル不純物濃度調整領域が設けられない場合にV<sub>side</sub>が120 mV以上となるトランジスタの特性を改善するために適用される。

#### 【0185】

また、本実施形態のトランジスタは、典型的にはV<sub>side</sub>が120 mV以上であるという特徴を持つ。なお、p<sub>side</sub>、p<sub>corner</sub>、p<sub>center</sub>、V<sub>corner</sub>、V<sub>side</sub>の決め方も第一実施形態と同じである。但し、本実施形態のp<sub>side</sub>はその直上にチャネル不純物濃度調整領域が設けられているか否かに係わらず、チャネル形成領域のいずれかの位置に設けられるチャネル不純物濃度調整領域の下端よりも下部の領域から選ばれる。れる下部チャネル不純物濃度調整領域の上端よりも上部の領域から選ばれる。

#### 【0186】

なお、以上p<sub>side</sub>、p<sub>corner</sub>、p<sub>center</sub>、V<sub>corner</sub>、V<sub>side</sub>に関する議論はnチャネルトランジスタを例に説明をしたがpチャネルトランジスタの場合は、極性が逆である。

#### 【0187】

また、本発明は、典型的には、チャネル不純物濃度調整領域が設けられない場合に半導体層中の不純物濃度の平均値が $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上であるトランジスタの性能を改善するために適用され、従って本実施形態のトランジスタにおいて、第二導電型のチャネル形成領域のうちチャネル不純物濃度調整領域を除いた領域における第二導電型のネット不純物濃度の平均値は典型的には $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。

#### 【0188】

また、短チャネル（典型的にはゲート長0.1 μm以下）のトランジスタに対しては、本発明は、典型的には、チャネル不純物濃度調整領域が設けられない場合に半導体層中の不純物濃度の平均値が $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であるトランジスタの性能を改善するために適用され、短チャネルの本実施形態のトランジスタにおいて、第二導電型のチャネル形成領域のうちチャネル不純物濃度調整領域を除いた領域における第二導電型のネット不純物濃度の平均値は典型的には $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。

#### 【0189】

##### [製造方法]

##### (第二実施形態の第一の製造方法)

第二実施形態の第一の製造方法は、半導体層の上部コーナ部部の近傍にチャネル不純物濃度調整領域10を設け、半導体層の上端部であっても上部コーナ部部から離れた領域にはチャネル不純物濃度調整領域10が設けられない形態（図12(a)）を形成する方法である。

#### 【0190】

図14、図15、図16、図17を参照して、第二実施形態の第一の製造方法について説明する。図14(a)、図15(a)、図16(a)はそれぞれ平面図である図14(c)、図15(c)、図16(c)のA-A'断面における断面図であり、従来例を示す平面図である図31のA-A'断面に相当する位置における断面の形状を工程の順を追って描いたものである。

#### 【0191】

図14(b)、図15(b)、図16(b)はそれぞれ平面図である図14(c)、図15(c)、図16(c)のB-B'断面における断面図であり、従来例を示す平面図である図31のB-B'断面に相当する位置における断面の形状を工程の順を追って描いたものである。

#### 【0192】

第二実施形態の電界効果型トランジスタを製造するためには、半導体層38上に素子領域を規定するレジストパターン22（レジストパターンを酸化膜などからなるマスクパターンに代えても可）を形成し、レジストパターン22をマスクに斜めイオン注入により、チャネル不純物濃度調整領域10を形成するための第二導電型不純物を導入する。これに

より、半導体層 38 のレジストに覆われた領域のうちレジストの端部に近い領域の上部に第二導電型不純物が導入される (図 14)。次にレジストパターン 22 をマスクとして、RIE などのエッチング工程により、基板から突起した半導体層 3 を持つ素子領域をパターンニングにより形成する。これにより第二導電型不純物が半導体層の他の領域よりも高い領域であるチャネル不純物濃度調整領域 10 が半導体層 3 の上部コーナー部に形成される (図 15)。

#### 【0193】

レジストパターン 22 を除去したのち、半導体 3 の側面にゲート絶縁膜 4 を形成し、ゲート電極材料を堆積したのち、ゲート電極材料を RIE (リアクティブ・イオン・エッチング) 等によりパターンニングすることによってゲート電極 5 を形成し、半導体層 3 のうちゲート電極 5 に覆われていない領域に高濃度の第一導電型不純物を導入してソース/ドレイン領域 6 を形成する (図 16)。その後層間絶縁膜を堆積して、通常の方法によりソース/ドレイン領域 6 およびゲート電極 5 に対してコンタクト 17 及び配線 18 を形成する (図 17、平面図の形態は図 5 と同じ)。

#### 【0194】

チャネル不純物濃度調整領域 10 の深さ及び不純物濃度は、前述の第二実施形態の構造的特徴を満たすように設定される。

#### 【0195】

(第二実施形態の第一の製造方法の実施例)

第二実施形態の第一の製造方法の具体的な実施例について補足する。

#### 【0196】

具体的な実施例においては、例えばシリコンよりなる支持基板 1、その上に  $\text{SiO}_2$  等の絶縁体よりなる埋め込み絶縁層 2、さらにその上に単結晶シリコンよりなる半導体層 38 が積層された SOI 基板において、通常のリソグラフィ工程により素子領域を規定するレジストパターン 22 を設ける (図 14)。

#### 【0197】

また、ゲート電極 5 を形成したのち、ゲート側壁 14、層間絶縁膜 16、コンタクト 17、配線 18 等を形成する工程は、第一実施形態の第一の製造方法または第一実施形態の第二の製造方法と同一の工程を用いる。

#### 【0198】

(第二実施形態の第二の製造方法)

第二実施形態の第二の製造方法は、チャネル形成領域 7 の上端部のうち、ソース/ドレイン領域 6 と接する部分の近傍においてのみ、上部コーナー部の一部を含むようにチャネル不純物濃度調整領域 10 を設け、半導体層の上端部であってもソース/ドレイン領域 6 から離れた領域にはチャネル不純物濃度調整領域 10 が設けられない形態 (図 12 (b)) を形成する方法である。

#### 【0199】

図 18、図 19 を参照して、第二実施形態の第二の製造方法について説明する。図 18 (a)、図 19 (a) はそれぞれ平面図である図 18 (c)、図 19 (c) の A-A' 断面における断面図であり、従来例を示す平面図である図 31 の A-A' 断面に相当する位置における断面の形状を工程の順を追って描いたものであり、図 18 (b)、図 19 (b) はそれぞれ平面図である図 18 (c)、図 19 (c) の B-B' 断面における断面図であり、従来例を示す平面図である図 31 の B-B' 断面に相当する位置における断面の形状を工程の順を追って描いたものであり、また、図 18、図 19 はそれぞれ第一実施形態の第二の製造方法における図 8、図 4 に相当する図面である。

#### 【0200】

また、第二実施形態の第二の製造方法は、第一実施形態の第二の製造方法において、ゲート電極をマスクに斜めイオン注入を行い、半導体層 3 の上部に半導体層 3 の他の領域よりも第二導電型不純物濃度が高いチャネル不純物濃度調整領域 10 が形成する工程に変更を加えたものであり、この工程を除いた製造方法はすべて第一実施形態の第二の製造方法

と同一である。

#### 【0201】

なお、図18には斜めイオン注入が基板平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に平行に実施される場合を図示した。第一実施形態の第二の製造方法と同じく、半導体層3の上部にチャンネル不純物濃度調整領域10を形成するという観点からは、基板平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に対して斜めイオン注入が平行に行われることが最も望ましい。また、平行ではなくとも、基板平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に対する角度(図20(c)における角度 $\psi$ )が10度以内であれば、ハロー領域を形成する機能は弱いので、半導体層3の上部にチャンネル不純物濃度調整領域10を形成することを主目的にする場合は、基板平面に垂直でチャンネル長方向に平行な平面に対する角度が10度以内であることが望ましい。

#### 【0202】

なお、斜めイオン注入をゲートの片側だけから行えば(図18(b)において $-\theta$ のみ。図18(c)において実線の矢印の方向のみ)、図81(b)の形態が得られる。

#### 【0203】

また、図82(a)の形態は、第一実施形態の各製造方法に、第一導電型の不純物を上記条件で斜めイオン注入する工程を追加し、ソース/ドレイン領域近傍の第二導電型不純物を補償した場合、図82(b)の形態は、第二実施形態の第一の製造方法に、第一導電型の不純物を上記条件で斜めイオン注入する工程を追加し、ソース/ドレイン領域近傍の第二導電型不純物を補償した場合に得られる。

#### 【0204】

第二実施形態の第二の製造方法においては、ゲート電極をマスクに斜めイオン注入を行う際に、ゲート電極の両側からイオンが注入されて形成されるチャンネル不純物濃度調整領域10が互いに接しないように形成される(図18、図19)。

#### 【0205】

例えば第一実施形態の第二の製造方法よりも低エネルギーでイオン注入を行う。あるいは第一実施形態の第二の製造方法よりも重いイオンを注入する。あるいは例えば第一実施形態の第二の製造方法がゲート長が長いトランジスタに適用された場合に第二実施形態のトランジスタが形成される。

#### 【0206】

また、この製造方法には、第一実施形態の第二の製造方法と同様に、置換ゲートプロセスを適用しても良い。

#### 【0207】

(第二実施形態の第三の製造方法)

第二実施形態の第三の製造方法は、半導体層3の上部コーナー部がソース/ドレイン領域6と接する部分の近傍においてチャンネル不純物濃度調整領域10を設け、半導体層の上端部であってもソース/ドレイン領域6から離れた領域及び上部コーナー部から離れた領域にはチャンネル不純物濃度調整領域10が設けられない形態(図13)を形成する方法であり、またチャンネル形成領域にハロー領域を持つトランジスタを形成する方法である。

#### 【0208】

図20、図21を参照して、第二実施形態の第三の製造方法について説明する。図20(a)は平面図である図20(c)のA-A'断面における断面図であり、従来例を示す平面図である図31のA-A'断面に相当する位置における断面の形状を描いたものである。図20(b)は平面図である図20(c)のC-C'断面における断面の形状を描いたものである。また、図21(a)、図21(b)はそれぞれ図20(a)、図20(b)の断面において、工程が進んだ状態での断面図を示す。また、図20、図21はそれぞれ第一実施形態の第二の製造方法における図8、図4に相当する図面である。

#### 【0209】

第二実施形態の第三の製造方法は、第一実施形態の第二の製造方法において、ゲート電



極をマスクに斜めイオン注入を行い、半導体層 3 の上部に半導体層 3 の他の領域よりも第二導電型不純物濃度が高いチャネル不純物濃度調整領域 10 が形成する工程に変更を加えたものであり、この工程を除いた製造方法はすべて第一実施形態の第二の製造方法と同一である。

#### 【0210】

第二実施形態の第三の製造方法においては、ゲート電極をマスクに斜めイオン注入を行う際に、ウエハの面内でチャネル長方向に対して角度（図 20（c）において、 $+\psi$ 、 $-\psi$ 、 $180^\circ + \psi$ 、 $180^\circ - \psi$ 。これらは基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対する角度。）を持たせてイオン注入する。これにより、チャネル形成領域の半導体層のゲート絶縁膜の近傍の領域のうち、ソース／ドレイン領域に接する領域では、半導体層 3 の全ての深さにおいて第二導電型不純物の濃度が高くなる。 $\psi$  の典型的な大きさは 20 度から 70 度である。

#### 【0211】

また、ウエハと垂直な面内に角度  $+\theta$ 、 $-\theta$ （基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な面内における基板平面の垂線に対する角度）を持たすことにより、半導体層 3 の上端部の不純物濃度が高くなる。

#### 【0212】

なお、斜めイオン注入をゲートの片側だけから行えば（図 20（c）において  $+\psi$ 、 $-\psi$  のみ。図中の実線の矢印の方向のみ）、図 81（b）の形態が得られる。

#### 【0213】

これにより、第二実施形態の第三の製造方法では、半導体層 3 の上端部のうち、上部コーナー部とソース／ドレイン領域の両方に接する領域において最も不純物濃度が高くなるので、半導体層 3 の上端部のうち、上部コーナー部とソース／ドレイン領域の両方に接する領域にだけ、チャネル不純物濃度調整領域 10 が形成される。

#### 【0214】

なお、図中の「やや濃度が高い領域 28」とは、本製造方法の工程上の特徴により形成される領域であり、チャネル不純物濃度調整領域 10 よりも第二導電型不純物のネット濃度が低いが、「やや濃度が高い領域 28」の下部の半導体層 3 よりも第二導電型不純物のネット濃度が高い領域である。

#### 【0215】

また、ウエハと垂直な面内に角度を持つ一方、基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に平行な第一の斜めイオン注入（図 18 に例示するイオン注入）と、ウエハと垂直な面内に角度を持ち、基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対して角度（図 20（c）の  $\psi$ ）を持つ第二の斜めイオン注入（図 20 に例示するイオン注入）の双方を実施しても良い。これは、通常ハローイオン注入の役割（短チャネル効果の抑制）を第二のイオン注入に持たせるとともに、寄生トランジスタを抑制できるチャネル不純物濃度調整領域の形成に十分な不純物を半導体層の上部に導入する役割を、第一のイオン注入に持たせるものであり、短チャネルの FinFET の形成に特に有効である。

#### 【0216】

また、ウエハと垂直な面内に角度を持ち、基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に平行ではない第一の斜めイオン注入と、ウエハと垂直な面内に角度を持ち、基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対して第一の斜めイオン注入よりも大きな角度を持つ第二の斜めイオン注入を実施しても良い。第一のイオン注入が寄生トランジスタを抑制できるチャネル不純物濃度調整領域の形成に十分な不純物を半導体層の上部に導入する役割を持ち、第二の斜めイオン注入が通常ハローイオン注入の役割を持つことは、前に述べた第一の斜めイオン注入が基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に平行な場合と同じである。なお、この場合においても、チャネル不純物濃度調整領域の形成という観点からは第一の斜めイオン注入の基板平面に垂直でチャネル長方向に平行な平面に対する角度（図 20（c）の  $\psi$ ）は、10 度以下であることが好ましい。

#### 【0217】



## 【効果】

第二実施形態においては、チャネル不純物濃度調整領域10が半導体層3の上部のうち、半導体層の二つの上部コーナー部（図11の平面図における二本の太い破線の位置（記号37））のそれぞれ少なくとも一部の領域にだけ形成される。寄生トランジスタを抑制するためには、半導体層の二つの上部コーナー部の少なくともそれぞれ一部において、不純物濃度の高い領域を設ければ良いので、第二実施形態においても第一実施形態と同様に、寄生トランジスタの発生が抑制され第一の課題が解決される。

## 【0218】

第二実施形態の電界効果型トランジスタの作用上の特徴は、チャネル不純物濃度調整領域10を寄生トランジスタの抑制に最低限必要な領域に限ったことにより、半導体層上面及び半導体層上部側面に、局所的にチャネル不純物濃度調整領域10よりも不純物濃度が低い領域が形成されることである。局所的に不純物濃度が低い領域では、局所的にしきい電圧が低くチャネル電荷が誘起されやすくなるとともに、チャネルキャリアの移動度も向上するので、局所的にチャネル抵抗が低い領域が形成される。すなわち、第二実施形態の電界効果型トランジスタでは、チャネル不純物濃度調整領域10を最低限必要な領域だけに設けることにより、チャネル抵抗が低い領域を拡大し、ドレイン電流が増加する。

## 【0219】

図12(a)の形態における作用を図71を参照して説明する。図71は図12(a)において半導体層上面の部分拡大して模式的に描いたものであり、抵抗 $R_1$ 、 $R_3$ はチャネル不純物濃度調整領域10におけるチャネル抵抗、抵抗 $R_2$ はチャネル不純物濃度調整領域10が形成されない領域のチャネル抵抗を、それぞれ模式的に示したものである。チャネル不純物濃度調整領域10が形成されない領域のチャネル抵抗 $R_2$ は上述の理由により、 $R_1$ 、 $R_3$ よりも低いので、抵抗 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ が並列に接続されて形成される合成抵抗の値は、半導体層上面の全体にチャネル不純物濃度調整領域10が形成される場合に比べて低くなる。その結果、半導体層上面の全体にチャネル不純物濃度調整領域10が形成される場合に比べてドレイン電流が増加する。

## 【0220】

また、図12(b)の形態における作用を図72を参照して説明する。図72は図12(b)において半導体層上面の部分拡大して模式的に描いたものであり、抵抗 $R_1$ 、 $R_3$ はチャネル不純物濃度調整領域10におけるチャネル抵抗、抵抗 $R_2$ はチャネル不純物濃度調整領域10が形成されない領域のチャネル抵抗を、それぞれ模式的に示したものである。この形態では、抵抗 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ は直列に接続される。チャネル不純物濃度調整領域10が形成されない領域のチャネル抵抗 $R_2$ は前述の理由により、 $R_1$ 、 $R_3$ よりも低いので、抵抗 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ が直列に接続されて形成される合成抵抗の値は、半導体層上面の全体にチャネル不純物濃度調整領域10が形成される場合に比べて低くなる。その結果、半導体層上面の全体にチャネル不純物濃度調整領域10が形成される場合に比べてドレイン電流が増加する。

## 【0221】

また、第二実施形態においては半導体層上端部のうち不純物領域が高いチャネル不純物濃度調整領域10を設けない領域（例えば図12(a)及び図13のB-B'断面における上端部付近）にはチャネルが形成されるので、特許文献1の従来例に比べるとチャネルが形成される領域が増し、ドレイン電流が増すので、第二の課題が改善される。

## 【0222】

また第二実施形態においても第一実施形態の場合と同じように、チャネル不純物濃度調整領域10およびその近傍にもチャネルが形成される程度にチャネル不純物濃度調整領域10の濃度が抑制されることが、最も好ましい（チャネル不純物濃度調整領域10の濃度が高すぎると、チャネル不純物濃度調整領域10だけでなく、その近傍でもチャネルが形成されなくなる）。

## 【0223】

第二実施形態の電界効果型トランジスタにおいては、前述の理由により半導体上端部に

チャンネルが形成されやすく、第一実施形態の電界効果型トランジスタに比べて同等以上のドレイン電流が得られることを考慮し、第一実施形態の電界効果型トランジスタに関するシミュレーション結果に照らし合わせると、第二実施形態におけるチャンネル不純物濃度調整領域 10 の深さ及び不純物濃度は、第一実施形態のチャンネル不純物濃度調整領域 10 の条件を満たすように設定することが好ましく、このような条件の範囲にあれば十分な効果が得られる。例えば、チャンネル不純物濃度調整領域 10 における半導体層の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値は、当該チャンネル不純物濃度調整領域 10 における半導体層の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲を除いたチャンネル形成領域における第二導電型のネット不純物濃度の平均値の 1.5 倍から 3 倍の範囲にあれば十分な効果が得られる。

#### 【0224】

また、典型的には第二導電型であるチャンネル形成領域において上端から深さ  $H_{top}$  の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値が、第二導電型であるチャンネル形成領域のうち上端から深さ  $H_{top}$  の範囲を除いた領域における第二導電型のネット不純物濃度の平均値の 1.3 倍から 4 倍の範囲にあれば、実用上有効な効果が得られる。

#### 【0225】

また、第二実施形態においては、第二導電型であるチャンネル形成領域うち上端から深さ  $H_{top}$  の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値  $N_{top}$  ではなく、チャンネル不純物濃度調整領域 10 を含むある断面（例えば図 12 (a) の C-C' 断面、図 12 (b) の D-D' 断面）において、上端から深さ  $H_{top}$  の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値  $N_{top2}$  が  $N$  に対して 1.5 倍から 3 倍の範囲にあれば、十分な効果が得られる。また  $N_{top2}$  が  $N$  に対して 1.3 倍から 4 倍の範囲にあれば、実用上有効な効果が得られる。

#### 【0226】

また、チャンネル不純物濃度調整領域 10 に含まれるある点 p における深さ方向の分布（例えば図 13 の点 p における、半導体層の上端面から下端面に至る分布）において、上端から深さ  $H_{top}$  の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値  $N_{top1}$  が  $N$  に対して 1.5 倍から 3 倍の範囲にあれば、十分な効果が得られる。また  $N_{top1}$  が  $N$  に対して 1.3 倍から 4 倍の範囲にあれば、実用上有効な効果が得られる。

#### 【0227】

但し、チャンネル長方向（二つのソース／ドレイン領域を結ぶ方向であり、例えば図 12 (b) の B-B' 方向や図 13 の B-B' 方向）におけるチャンネル不純物濃度調整領域 10 の長さが小さすぎると、寄生トランジスタを抑制する作用が弱くなるので、前記  $N_{top1}$  または  $N_{top2}$  に関する条件が、一つのチャンネル不純物濃度調整領域 10 に対してチャンネル長方向に 10 nm 以上にわたって満たされることが望ましい。

#### 【0228】

また、上記  $N_{top1}$  または  $N_{top2}$  に関する条件が満たされる形態においては、第二導電型であるチャンネル領域における半導体層の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲の第二導電型のネット不純物濃度の平均値  $N_{top}$  が規定の条件を満たさない場合（例えば  $N$  の 1.3 倍以下）であっても第一の課題を解決する効果が得られる。

#### 【0229】

また、第二実施形態のトランジスタにおいても、第一実施形態と同様に半導体層中に中性領域が形成されないことが最も望ましい。第一実施形態の場合と同じく、本実施形態に記載する条件に従えば、寄生トランジスタの抑制に必要なだけの深さ及び不純物濃度で、チャンネル不純物濃度調整領域を半導体層の上部に形成できるので、必要以上の不純物が半導体層の上部に導入されることを防ぎ、半導体層全体を空乏化させることが容易になる。

#### 【0230】

また、半導体層全体の空乏化に関する、第一実施形態または第二実施形態におけるこのような構成及び効果は、第一実施形態または第二実施形態に記載される条件でチャンネル不純物濃度調整領域が形成される、後述の各種実施形態においても同じである。

## 【0 2 3 1】

また、Ntop、Ntop1、Ntop2を規定するチャネル不純物濃度調整領域の深さHtopの好ましい範囲は、第一実施形態と同じである。Htopは典型的には5 nmから24.5 nmである。製造方法の容易性（製造の観点からは、Htopが大きいほうが作りやすい。）と効果の兼ね合いと考えると、好ましくは10 nmから20 nmの範囲であり、最も典型的なHtopの値は10 nmである。Htopの好ましい値は、第一実施形態または第二実施形態に記載される条件でチャネル不純物濃度調整領域が形成される、後述の各種実施形態においても同じである。

## 【0 2 3 2】

（第三実施形態）

〔構造〕

第三実施形態においては、第一実施形態または第二実施形態と同じ形態を持つチャネル不純物濃度調整領域10が半導体層3の上端部と下端部の両方に設けられる。

## 【0 2 3 3】

第三実施形態の場合、第一実施形態及び第二実施形態における上部のチャネル不純物濃度調整領域10に対する条件を適宜下部のチャネル不純物濃度調整領域に対する条件に適用することができる。また、第一実施形態及び第二実施形態における上部のチャネル不純物濃度調整領域10に対する濃度条件において、半導体層の上端からある範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度に対して規定される濃度範囲を、半導体層の上端からある範囲と半導体層の下端からある範囲を除いた半導体層領域における第二導電型のネット不純物濃度に対して規定される、チャネル不純物濃度調整領域10の不純物濃度範囲として適用する。例えば、「半導体層3の上端から深さHtopの範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度」に対して規定される濃度範囲の値を、「半導体層3の上端から深さHtopの範囲と半導体層の下端から高さHtop2の範囲の両方を除いた半導体層3における第二導電型のネット不純物濃度」に対して規定される濃度範囲に適用する。

## 【0 2 3 4】

（第三実施形態の構造の実施例）

第三実施形態について、図26及び図27を参照して説明する。なお、図26（a）は図27のA-A'断面における断面図であり、従来例を示す図31のA-A'断面に相当する位置における断面図である。図26（b）は図27のB-B'断面における断面図であり、従来例を示す図31のB-B'断面に相当する位置における断面図である。

## 【0 2 3 5】

本実施形態においては基板から上方に突起した半導体層3が設けられ、半導体層の側面にはゲート絶縁膜4を介してゲート電極5が設けられる。ゲート電極5は適当な寸法にパターンニングされており、ゲート電極5に覆われない位置の半導体層3には第一導電型の不純物が高濃度に導入されたソース／ドレイン領域6が形成される。ゲート電極5に覆われた半導体層であるチャネル形成領域7には、低濃度の第二導電型不純物が導入され、ゲート電極5に適当な電圧を印加することにより第一導電型のキャリアよりなるチャネルが形成される。ゲート電極5及びソース／ドレイン領域6にはコンタクト17を介して配線18が接続される。

## 【0 2 3 6】

チャネル形成領域7をなす半導体層3の上端からある範囲（深さHtop）にわたって設けられるチャネル不純物濃度調整領域10（以下、上部チャネル不純物濃度調整領域19）と半導体層3の下端からある範囲（高さHtop2）にわたって設けられるチャネル不純物濃度調整領域10（以下、下部チャネル不純物濃度調整領域11）は、上部チャネル不純物濃度調整領域19及び下部チャネル不純物濃度調整領域11の両者を除く半導体層3（中部チャネル形成領域と呼ぶ）よりも高濃度の第二導電型不純物が導入される。

## 【0 2 3 7】

下部チャネル不純物濃度調整領域の不純物濃度は、半導体層の下部コーナ部の電位上

昇を抑制し、かつ下部チャネル不純物濃度調整領域の側面に、ゲート電圧の印加とともにチャネルが形成される程度の濃度に調整される。

**【0 2 3 8】**

また下部チャネル不純物濃度調整領域の不純物濃度は、第二導電型であるチャネル形成領域において半導体層 3 の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲及び半導体層 3 の下端から高さ  $H_{top2}$  の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値を  $N2$  と記すと、下部チャネル不純物濃度調整領域が設けられない場合に比べて（すなわち下部チャネル不純物濃度調整領域の不純物濃度を上記  $N2$  で置き換えた場合に比べて）半導体層上部のコーナー部での電位上昇を低減できる  $N_{top}$  と  $N2$  との関係を満たすように設定される。この時、半導体層の下部コーナー部での電位上昇低減量は、典型的には半導体層下部コーナー部の少なくとも一部の領域で、60 mV 以上（60 mV の低減は寄生トランジスタによる漏れ電流が一桁減少する条件に相当。）の低減であることが望ましい。

**【0 2 3 9】**

第三実施形態においては、第二導電型であるチャネル形成領域において半導体層 3 の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値と、第二導電型であるチャネル形成領域において半導体層 3 の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲及び半導体層 3 の下端から高さ  $H_{top2}$  の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値 ( $N2$ ) との比は、第一実施形態における  $N_{top}$  と  $N$  との比と同じ範囲に設定される。

。

**【0 2 4 0】**

また、第三実施形態においては、第二導電型であるチャネル形成領域において半導体層 3 の下端から高さ  $H_{top2}$  の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値と、半導体層 3 の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲及び半導体層 3 の下端から高さ  $H_{top2}$  の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値との比は、第一実施形態における  $N_{top}$  と  $N$  との比と同じ範囲に設定される。

**【0 2 4 1】**

また、第三実施形態において適用される  $H_{top}$  の範囲は、第一実施形態における  $H_{top}$  の範囲と同じ範囲に設定される。

**【0 2 4 2】**

また、第三実施形態において適用される  $H_{top2}$  の範囲は、第一実施形態における  $H_{top}$  の範囲と同じ範囲に設定される。

**【0 2 4 3】**

また、第三実施形態における  $H_{top}$ 、 $H_{top2}$  の定義は、第一実施形態において記載したものに従う。

**【0 2 4 4】**

第二導電型であるチャネル形成領域において半導体層 3 の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値は、典型的には半導体層 3 の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲及び半導体層 3 の下端から高さ  $H_{top2}$  の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値の 1.3 倍から 4 倍の範囲になる。より典型的には、半導体層 3 の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲及び半導体層 3 の下端から高さ  $H_{top2}$  の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値の 1.5 倍から 3 倍の範囲になる。あるいは、半導体層 3 の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値は、界面から 1 nm 以内の範囲を除いて半導体層 3 の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲及び半導体層 3 の下端から高さ  $H_{top2}$  の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値の 1.5 倍から 3 倍の範囲にある。

**【0 2 4 5】**

また、第二導電型であるチャネル形成領域において半導体層 3 の下端から高さ  $H_{top2}$  の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値は、典型的には半導体層 3 の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲及び半導体層 3 の下端から高さ  $H_{top2}$  の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値の 1.3 倍から 4 倍の範囲になる。より典型的

には、半導体層 3 の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲及び半導体層 3 の下端から高さ  $H_{top2}$  の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値の 1.5 倍から 3 倍の範囲になる。あるいは、半導体層 3 の下端から高さ  $H_{top2}$  の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値は、界面から 1 nm 以内の範囲を除いて半導体層 3 の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲及び半導体層 3 の下端から高さ  $H_{top2}$  の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値の 1.5 倍から 3 倍の範囲にある。

#### 【0246】

また、第三実施形態においては、上部チャネル不純物濃度調整領域 19 または下部チャネル不純物濃度調整領域 11 に対して第二実施形態が適用されても良い。すなわち、半導体層の上端部のうち一部の領域においてのみ、不純物濃度の高い領域が設けられる。または半導体層の下端部のうち一部の領域においてのみ、不純物濃度の高い領域が設けられる。下部チャネル不純物濃度調整領域 11 に第二実施形態が適用される場合には、第二実施形態における上端部における不純分布の説明において「上端部」を「下端部」に読みかえる。

#### 【0247】

上部チャネル不純物濃度調整領域 19 に対して第二実施形態が適用された場合、第二導電型であるチャネル形成領域において半導体層 3 の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値と、半導体層 3 の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲及び半導体層 3 の下端から高さ  $H_{top2}$  の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値との比は、第二実施形態における  $N_{top}$  と  $N$  との比、 $N_{top1}$  と  $N$  との比、 $N_{top2}$  と  $N$  との比のいずれかと、同じ範囲に設定される。

#### 【0248】

また、下部チャネル不純物濃度調整領域 11 に対して第二実施形態が適用された場合、第二導電型であるチャネル形成領域において半導体層 3 の下端から高さ  $H_{top2}$  の範囲における第二導電型のネット不純物濃度の平均値と、半導体層 3 の上端から深さ  $H_{top}$  の範囲及び半導体層 3 の下端から高さ  $H_{top2}$  の範囲を除いた半導体層における第二導電型のネット不純物濃度の平均値との比は、第二実施形態における  $N_{top}$  と  $N$  との比、 $N_{top1}$  と  $N$  との比、 $N_{top2}$  と  $N$  との比のいずれかと、同じ範囲に設定される。

#### 【0249】

第三実施形態において、上部チャネル不純物濃度調整領域 19 に第二実施形態のチャネル不純物濃度調整領域 10 の形態を組み合わせた場合の形態を、図 28、図 29 及び図 30 に示す。図 28、図 29 及び図 30 の形態は、半導体層の下部に下部チャネル不純物濃度調整領域 11 を持つ第三実施形態に、第二実施形態における図 17、図 19 及び図 21 の形態をそれぞれ組み合わせたものである。

#### 【0250】

なお、図 30 中の「上部のやや濃度が高い領域 29」及び「下部のやや濃度が高い領域 30」とは、第三実施形態の下記製造方法において、上部のチャネル不純物濃度調整領域の形成に第二実施形態の第二の製造方法を適用した場合に、製造方法の工程上の特徴により形成される領域である。「上部のやや濃度が高い領域 29」は上部チャネル不純物濃度調整領域 19 よりは第二導電型不純物のネット濃度が低いが、「上部のやや濃度が高い領域 29」の下部の半導体層 3 よりは第二導電型不純物のネット濃度が高い領域である。「下部のやや濃度が高い領域 30」は下部チャネル不純物濃度調整領域 11 よりは第二導電型不純物のネット濃度が低いが、「下部のやや濃度が高い領域 30」の上部の半導体層 3 よりは第二導電型不純物のネット濃度が高い領域である。

#### 【0251】

本実施形態が適用により特性の改善の対象となるトランジスタ、及び本実施形態のトランジスタにおける、 $V_{side}$ 、 $V_{corener}$ 等の電位差の特徴、チャネル形成領域における不純物濃度の特徴は、第一実施形態と同様である。

#### 【0252】

すなわち、チャネル不純物濃度調整領域の不純物濃度は、チャネル不純物濃度調整領域

が設けられない場合に比べて半導体層の上部コーナー部での電位上昇、半導体層の下部コーナー部での電位上昇を低減できるように設定される。この時、半導体層の上部コーナー部での電位上昇低減量、半導体層の下部コーナー部での電位上昇低減量の少なくとも一方は、典型的には半導体層の上部コーナー部または半導体層の下部コーナー部の少なくとも一部の領域で、60 mV以上の低減であることが望ましい。

#### 【0253】

また、本発明は、典型的には、チャネル不純物濃度調整領域が設けられない場合に半導体層の上部コーナー部または半導体層の下部コーナー部の少なくとも一部の領域で60 mV以上の電位上昇が起きてしまうトランジスタの特性を改善するために適用される。また、典型的には、チャネル不純物濃度調整領域が設けられない場合にV<sub>side</sub>が120 mV以上トランジスタの特性を改善するために適用される。

#### 【0254】

また、本実施形態のトランジスタは、典型的にはV<sub>side</sub>が120 mV以上であるという特徴を持つ。なお、p<sub>side</sub>、p<sub>corner</sub>、p<sub>center</sub>、V<sub>corner</sub>、V<sub>side</sub>の決め方も第一実施形態と同じである。但し、p<sub>corner</sub>は半導体層の上部コーナーと下部コーナーの双方に対して設定され、またV<sub>corner</sub>は、半導体層の上部コーナーに対するV<sub>corner</sub>と導体層の下部コーナーに対するV<sub>corner</sub>の二者のうち、値が大きいほうとする。また、V<sub>side</sub>は、第二導電型のチャネル形成領域のうち、上部チャネル不純物濃度調整領域の下端より下部、下部チャネル不純物濃度調整領域の上端より上部の位置にとる。また、上部チャネル不純物濃度調整領域または、上部チャネル不純物濃度調整領域のいずれかが第二実施形態に従って設けられた場合、本実施形態のp<sub>side</sub>はその直上にチャネル不純物濃度調整領域が設けられているか否かに係わらず、またはその直下にチャネル不純物濃度調整領域が設けられているか否かに係わらず、チャネル形成領域のいずれかの位置に設けられる上部チャネル不純物濃度調整領域の下端よりも下部で、チャネル形成領域のいずれかの位置に設けられる下部チャネル不純物濃度調整領域の上端よりも上部の領域から選ばれる。

#### 【0255】

なお、以上p<sub>side</sub>、p<sub>corner</sub>、p<sub>center</sub>、V<sub>corner</sub>、V<sub>side</sub>に関する議論はnチャネルトランジスタを例に説明をしたがpチャネルトランジスタの場合は、極性が逆である。

#### 【0256】

また、本発明は、典型的には、上部チャネル不純物濃度調整領域及び下部チャネル不純物濃度調整領域がいずれも設けられない場合に半導体層中の不純物濃度の平均値が $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上であるトランジスタの性能を改善するために適用され、従って本実施形態のトランジスタにおいて、第二導電型のチャネル形成領域のうち上部チャネル不純物濃度調整領域及び下部チャネル不純物濃度調整領域の双方を除いた領域における第二導電型のネット不純物濃度の平均値は典型的には $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。

#### 【0257】

また、短チャネル（典型的にはゲート長0.1  $\mu\text{m}$ 以下）のトランジスタに対しては、本発明は、典型的には、上部チャネル不純物濃度調整領域及び下部チャネル不純物濃度調整領域がいずれも設けられない場合に半導体層中の不純物濃度の平均値が $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であるトランジスタの性能を改善するために適用され、短チャネルの本実施形態のトランジスタにおいて、第二導電型のチャネル形成領域のうち上部チャネル不純物濃度調整領域及び下部チャネル不純物濃度調整領域の双方を除いた領域における第二導電型のネット不純物濃度の平均値は典型的には $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。

#### 【0258】

##### 〔製造方法〕

##### （第三実施形態の製造方法）

第三実施形態の製造方法の一例について図22、図23、図24、図25、図26及び図27を参照して説明する。

#### 【0259】

図22(a)、図22(b)、図22(c)及び図23は、図31のA-A'断面また



はB-B'断面に相当する位置での断面形状を工程の順を追って描いたものである。

#### 【0260】

図24(a)、図25(a)、図26(a)はそれぞれ図24(c)、図25(c)、図27のA-A'断面における断面図であり、従来例を示す平面図である図31のA-A'断面に相当する位置における断面の形状を工程の順を追って描いたものである。また、図24(b)、図25(b)、図26(b)はそれぞれ図24(c)、図25(c)、図27のB-B'断面における断面図であり、従来例を示す平面図である図31のB-B'断面に相当する位置における断面の形状を工程の順を追って描いたものである。

#### 【0261】

本製造方法は、下部チャネル不純物濃度調整領域11となる中濃度第二導電型半導体層31(図22(b))の上に、中濃度第二導電型半導体層31の上部に不純物濃度が低い半導体層(図中にエピタキシャル層12と示す。典型的には単結晶シリコンである。)をエピタキシャル成長させる(図22(c))ことにより、半導体層の下部において不純物濃度が高い半導体層の構造を形成したのち、第一実施形態の製造方法または第二実施形態の製造方法と同様の工程を実施することにより、第三実施形態の電界効果型トランジスタを形成する(図24、図25、図26、図27)。

#### 【0262】

なお、中濃度第二導電型半導体層31、上部中濃度第二導電型半導体層32には、形成されたトランジスタの上部チャネル不純物濃度調整領域19及び下部チャネル不純物濃度調整領域11が、第一実施形態または第二実施形態の条件を満たす濃度の第二導電型不純物が導入される。

#### 【0263】

(第三実施形態の製造方法の実施例)

第三実施形態の製造方法について、図22、図23、図24、図25、図26及び図27を参照して説明する。

#### 【0264】

シリコンよりなる支持基板1、その上にSiO<sub>2</sub>等の絶縁体よりなる埋め込み絶縁層2、さらにその上に単結晶シリコンよりなる半導体層38が積層したSOI基板(図22(a))に、イオン注入により第二導電型不純物を導入し(図22(b))、半導体層を中濃度第二導電型半導体層31とする。次に中濃度第二導電型半導体層31の上部に、中濃度第二導電型半導体層31よりも第二導電型不純物の濃度が低いシリコン層をエピタキシャル成長させることにより、エピタキシャル層12を形成する。次にエピタキシャル層12の上部にイオン注入により第二導電型の不純物を導入し、エピタキシャル層12の上部に上部中濃度第二導電型半導体層32を形成する。なお、中濃度第二導電型半導体層32は第二導電型不純物を含んだ単結晶シリコンをエピタキシャル層12の上部にエピタキシャル成長させることにより形成しても良い。

#### 【0265】

なお、中濃度第二導電型半導体層31の厚さH<sub>top</sub>の好ましい値は、典型的には24.5nm以下であり、また、製造方法における容易性からはH<sub>top</sub>は5nm以上が好ましく、従ってH<sub>top</sub>は典型的には5nmから24.5nmであり、製造方法の容易性(製造の観点からは、H<sub>top</sub>が大きいほうが作りやすい。)と効果の兼ね合いと考えると、好ましくは10nmから20nmの範囲であり、最も典型的なH<sub>top</sub>の値は10nmである。

#### 【0266】

またエピタキシャル層12の厚さは典型的には30nmから100nmである。

#### 【0267】

次に通常のリソグラフィ工程及びRIE等の通常のエッチング工程により、基板表面から突起する半導体層3をパターニングによって形成する(図24)。次に半導体層3の側面にゲート絶縁膜4を設けたのち、ポリシリコンを堆積し、これを通常のリソグラフィ工程及びRIE工程によりエッチングすることによりパターニングしてゲート電極を形成し、続いて、ゲート電極をマスクに高濃度のイオン注入を行い、熱処理を行うことにより、



ゲート電極に覆われない位置の半導体層 3 にソース／ドレイン領域 6 を設け、図 25 の形状を得る。なお、ゲート絶縁膜は、例えば半導体層 3 を熱酸化することによって設ける。また、ソース／ドレイン領域は垂直方向のイオン注入、斜めイオン注入あるいはプラズマドーピング等の不純物導入工程によって不純物を導入することにより形成する。

#### 【0268】

続いて、全体に絶縁膜を堆積してこれをエッチバックすることにより、ゲート側壁 14 を設ける。ゲート側壁 14 をなす絶縁膜は、例えば  $\text{SiO}_2$  単層膜、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  単層膜、 $\text{SiO}_2$  及び  $\text{Si}_3\text{N}_4$  からなる多層膜などの絶縁膜を用いる。また、ゲート側壁 14 をなす絶縁膜は CVD 法等の製膜技術によって形成する。続いてソース／ドレイン領域 6 の上部、及びゲート電極 5 の上部に金属を堆積し、熱処理することにより、ソース／ドレイン領域 6 の上部及びゲート電極 5 の上部にシリサイド層 15 を形成する。続いて、層間絶縁膜 16 を堆積し、これを平坦化したのち、ソース／ドレイン領域 6 上部、及びゲート電極 5 の上部にコンタクトホールを開口し、金属を埋め込むことによりコンタクト 17 を形成し、金属よりなる配線 18 をコンタクト 17 に接続し、図 26 及び図 27 の形状を得る。なお、コンタクト領域への金属の埋め込みと配線となる金属の堆積は同時に行っても良い。なお、コンタクト 17 は配線 18 の下部に位置するが、図 27 においてはその位置を透視的に示した。

#### 【0269】

##### [効果]

本実施形態のトランジスタは半導体層上部コーナーに対する電界集中抑制効果に加えて、半導体層下部コーナーに対する電界集中抑制効果をもつ。従って半導体層上部コーナーにおける寄生トランジスタに加えて、半導体層下部コーナーにおける寄生トランジスタも抑制できる。

#### 【0270】

##### (第四実施形態)

##### [構造]

第四実施形態は、本発明における突起した半導体層の上部とゲート電極との間に当該半導体層の上面にチャネルが形成されないようにゲート電極よりも厚いキャップ絶縁膜が設けられた形態である。

#### 【0271】

例えば、第一実施形態、第二実施形態及び第三実施形態において、それぞれ半導体層 3 の上部、ゲート電極 5 よりも下部にキャップ絶縁膜 8 が形成された形態とすることができる。第一実施形態の図 4 に対応する形態として図 44 に示す形態が挙げられる。第二実施形態の図 17、図 19、図 21 に対応する形態としてそれぞれ図 51、図 53、図 55 に示す形態が挙げられる。第三実施形態の図 26 に対応する形態として、図 59 に示す形態が挙げられる。

#### 【0272】

##### [製造方法]

本実施形態においては、ゲート電極の形成工程前に半導体層上にキャップ絶縁膜を形成する工程を実施する他は、第一実施形態、第二実施形態及び第三実施形態とそれぞれ同様の製造方法によって電界効果型トランジスタを製造することができる。

#### 【0273】

図 44 に示す形態の製造の説明図を図 41～43、図 45～47 に示す。図 41～43 は図 1～3 に対応し、図 45～47 は図 6～8 に対応する。なお、図 1～3 に示す方法では突起した半導体層 3 を形成した後に不純物のイオン注入を行ってチャネル不純物濃度調整領域 10 を形成しているが、図 41～43 では、チャネル不純物濃度調整領域 10 となる不純物層 10、その上にキャップ絶縁膜 8 となる絶縁層 8 を形成してから、パターンニングを行って、上部にキャップ絶縁膜 8 を有する突起した半導体層 3 を形成している。図 51 に示す形態の製造の説明図を図 48～50 に示す。図 48～50 は図 14～図 16 に対応する。図 53 に示す形態の製造の説明図を図 52 に示す。図 52 は図 18 に対応する。

図55に示す形態の製造の説明図を図54に示す。図54は図20に対応する。図59に示す形態の製造の説明図を図56～58に示す。図56～58は図23～25に対応する。

【0274】

なお、図48の斜めイオン注入工程は、レジストパターン22をマスクに実施しても良いし、レジストパターン22を除去したのち、キャップ絶縁膜8をマスクにイオン注入を実施しても良い。

【0275】

また、図52、図54の工程では、ゲート電極のパターニングに続いて、ゲート電極に覆われていない領域のキャップ絶縁膜8をエッチングしてから、斜めイオン注入を行う。

【0276】

[効果]

半導体層3上にキャップ絶縁膜8が設けられるダブルゲート構造においても、半導体層上部コーナーに対する電界集中を抑制することができる。従って半導体層上部コーナーにおける寄生トランジスタを抑制できる。

【0277】

また、チャネル不純物濃度調整領域の不純物濃度を、第一実施形態、第二実施形態及び第三実施形態に適用される前記の好適な濃度範囲に設定すると、半導体層上部側面24（図40）にチャネルが形成されやすくなるので、ダブルゲートトランジスタにおいてもオン電流を向上させることが可能になる。

【0278】

ダブルゲート構造のトランジスタにおいて、寄生トランジスタを抑制するために半導体層上端部に導入される第二導電型不純物濃度が高いと（例えば $p^+$ になる場合）、図40の半導体層上部側面24にチャネルが形成されなくなるが、本発明を適用することにより、半導体層上部側面24にもチャネルが形成されるので、その分だけ、オン電流が増す。

【0279】

なお、図10はゲート電極にオン電圧を印加した状態での結果であるので、本発明においては、ゲート電極にオン電圧を印加した状態において、半導体層上部側面24にチャネルが形成されることによって、高いオン電流が得られると言える。

【0280】

（第五実施形態）

[構造]

第五実施形態は、第一実施形態、第二実施形態、第三実施形態及び第四実施形態において突起した半導体層が支持基板と一体に接続された形態を持つ（図74、図75、図76、図77）。なお、図74は図4、図75は図17、図76は図21、図77は図26のそれぞれの図が示す実施形態において、突起した半導体層が支持基板と一体に接続された形態を示したものである。

【0281】

なお、第五実施形態において、チャネル形成領域7とは、半導体層の側面にゲート絶縁膜を介してゲート電極が向かい合っている領域の下端より上に位置する半導体層3のうち、ソース/ドレイン領域に挟まれた領域を指す。「第二導電型であるチャネル形成領域」は、同じく半導体層の側面にゲート絶縁膜を介してゲート電極が向かい合っている領域の下端より上に位置する領域において考える。

【0282】

[製造方法]

SOI基板に代えて、バルク半導体基板40を用いて、第一実施形態、第二実施形態、第三実施形態及び第四実施形態の製造方法を適用することによって電界効果型トランジスタを製造する。

【0283】

突起した半導体層はバルク半導体基板（典型的にはシリコン基板）を、RIE等のエッ

チングにより加工する。また、突起した半導体層の形成後でゲート電極の形成前に、基板上に $\text{SiO}_2$ 等の絶縁体よりなるゲート下絶縁膜39を形成する工程（例えばCVD法で $\text{SiO}_2$ を堆積したのち、 $\text{SiO}_2$ をRIEにより所定の高さまでエッチバックする）を実施する。

#### 【0284】

なお、ゲート下絶縁膜39はゲート電極下部の寄生容量を低減する作用があるが、工程を簡略化したい場合、あるいはゲート電極下部の容量が増えても良い場合などでは、ゲート下絶縁膜39を設ける工程を省略しても良い。この場合、ゲート下絶縁膜39の位置には、ゲート絶縁膜の形成工程によって、ゲート絶縁膜と同程度の厚さの絶縁膜が形成される。

#### 【0285】

なお、SOI基板を用いるが、突起した半導体層3の周辺の領域で半導体層38が完全に除去されない場合（例えば突起した半導体層3を形成するためのエッチングで、突起した半導体層3の周辺の半導体層を完全に除去せず、突起した半導体層3の下部が埋め込み絶縁層上の半導体層に接続する場合。図80参照。図80は図4(a)、図74(a)に対応する断面の断面図である。）の埋め込み絶縁層よりも上部の構造、及びゲート電極下絶縁膜39の形成方法についても、第五実施形態と同じである。

#### 【0286】

##### [効果]

突起した半導体層が支持基板と一体に接続された形態においても、第一実施形態、第二実施形態、第三実施形態及び第四実施形態と同じ効果が得られる。

#### 【0287】

（各実施形態における材料、寸法及びプロセス条件の具体例）

（第一実施形態）から（第五実施形態）における材料、寸法及びプロセス条件の具体例を挙げる。

#### 【0288】

##### （支持基板）

支持基板1は、通常単結晶のシリコンウエハであるが、石英、ガラス、サファイア、あるいはシリコン以外の半導体など、シリコン基板以外の基板が使われても良い。

#### 【0289】

##### （埋め込み絶縁層2）

埋め込み絶縁層2は、通常 $\text{SiO}_2$ であるが、他の絶縁体であっても良く、また複数の材料からなる多層膜であっても良い。また埋め込み絶縁層は多孔質 $\text{SiO}_2$ や $\text{SiOF}$ 等の、 $\text{SiO}_2$ よりも誘電率が低い低誘電率材料であっても良い。また、支持基板が石英、ガラス、サファイアなどの絶縁体である場合は、支持基板1が埋め込み絶縁層2を兼ねても良い。また、埋め込み絶縁層2の厚さは通常50nmから2 $\mu\text{m}$ 程度、より典型的には50nmから200nmであるが、必要に応じて50nm以下あるいは2 $\mu\text{m}$ 以上であってもよい。

#### 【0290】

なお、第五実施形態においては、埋め込み絶縁層2を持たない構造が用いられる。

#### 【0291】

##### （半導体層3）

半導体層3は単結晶であることが、オン電流の向上及びオフ電流の抑制という観点から最も望ましいが、要求される仕様においてオン電流が低く設定される場合、または要求される仕様においてオフ電流が大きく設定される場合は、アモルファス、多結晶など単結晶以外の材料であっても良い。

#### 【0292】

また、半導体層3をシリコン以外の半導体層で置き換えても良い。また、二種類以上の半導体の組み合わせによって置き換えて良い。

#### 【0293】

半導体層 3 は基板面から突起した形状を持つ。基板面は一般には支持基板 1 の上面であるが、埋め込み絶縁層 2 と支持基板が一体化した構造の場合は埋め込み絶縁層 2 の上面である。

#### 【0 2 9 4】

半導体層 3 の高さ  $H_{fin}$  (図 3 2、図 3 3 参照) は典型的には 2 0 n m から 1 5 0 n m、より典型的には 5 0 n m から 1 0 0 n m であり、半導体層の幅  $W_{fin}$  (図 3 2、図 3 3 参照) は典型的には 5 n m から 1 0 0 n m であり、より典型的には 1 5 n m から 5 0 n m である。但し、 $H_{fin}$ 、 $W_{fin}$ ともこの範囲以外の値を用いても良い。但し、チャネル形成領域の半導体層はゲート電極にしきい値電圧を印加した状態で空乏化していることが、 $F i n F E T$  の特性 (S フアクタの縮小により代表される、ON-OFF 特性の急峻化等) を生かすという観点から望ましい。ゲート電極にしきい値電圧を印加した状態で、半導体層の両側面から伸びた空乏層が互いに接触する完全空乏化状態を実現するためには、通常  $W_{fin}$  を 5 0 n m 以下、より典型的には 3 5 n m 以下に設定することが好ましい。

#### 【0 2 9 5】

また、本発明の各実施例において、熱酸化等の丸め工程によって、半導体層 3 の上部コーナー部を丸みを持つ形状に加工しても良い。半導体層 3 の上部コーナー部を丸みを持つ形状に加工した場合、図 3 (a) に対応する断面において得られる形状を図 7 9 (a)、図 1 6 (a) に対応する断面において得られる形状を図 7 9 (b) に示す。半導体層 3 の上部コーナー部に丸みを持たせることにも、上部コーナー部での電界集中を抑制し、寄生トランジスタを抑制する作用があるので、本発明の各実施形態において、上部コーナー部に丸みを持たせることにより、上部コーナー部での電界集中を抑制し、寄生トランジスタを抑制する効果をより強めることができる。また、埋め込み絶縁層上の半導体層 3 の下部コーナー部についても、各実施形態において、同様に丸め工程によって、曲率を持つ形状に加工しても良い。

#### 【0 2 9 6】

なお、上部コーナー部が丸められた形態においても、チャネル不純物濃度調整領域の深さ  $H_{top}$  は、半導体層の最も上の位置から測るものとする。埋め込み絶縁層上の半導体層 3 の下部コーナー部が丸められた形態においても、半導体層下部に設けられるチャネル不純物濃度調整領域の高さ  $H_{top2}$  は、半導体層の最も下の位置から測るものとする。

#### 【0 2 9 7】

(ゲート絶縁膜 4)

ゲート絶縁膜 4 は、シリコンの熱酸化により形成したものであっても良く、他の方法により形成した  $S i O_2$  膜であっても良い。例えばラジカル酸化によって形成した  $S i O_2$  膜を用いても良い。また、ゲート絶縁膜を  $S i O_2$  以外の絶縁材料の膜に置き換えて良い。また、 $S i O_2$  とそれ以外の絶縁膜との多層膜、あるいは  $S i O_2$  以外の絶縁膜同士が多層膜に置き換えて良い。また、ゲート絶縁膜を  $H f O_2$ 、 $H f S i O_4$  などの高誘電率材料に置き換えても良い。

#### 【0 2 9 8】

ゲート絶縁膜の酸化膜換算膜厚は典型的には 1. 2 n m から 3 n m である。但し酸化膜換算膜厚とは、ゲート絶縁膜を構成する絶縁膜の膜厚をゲート絶縁膜の誘電率で割った商に  $S i O_2$  の誘電率を乗じたものである。ゲート絶縁膜が多層膜である場合には、各層について前記方法で酸化膜換算膜厚を求めてそれらを足し合わせたものである。但し、微細なトランジスタにおいて、厚さ 1. 2 n m 以下の酸化膜換算膜厚を持つゲート絶縁膜が使用されても良い。

#### 【0 2 9 9】

(ゲート電極 5)

ゲート電極 5 は、ポリシリコンなどの多結晶半導体であっても良く、また金属や金属化合物等の多結晶半導体以外の導電体であっても良い。ゲート電極 5 がポリシリコンなどの多結晶半導体で構成される場合、典型的には、ゲート電極 5 のポリシリコンにはチャネルと同じ導電型である第一導電型の不純物が高濃度に導入される。また、ゲート電極は、置

換ゲート（リプレースメント・ゲートとも呼ばれる）プロセスにより形成しても良い。すなわち、一旦ダミー材料によりゲート電極の形状を形成し、ソース／ドレイン領域に第一導電型の不純物を高濃度に導入し、ダミー材料を絶縁膜で覆ったのちに、ダミー材料を除去して得られた空洞中にゲート電極、あるいはゲート絶縁膜とゲート電極を埋設する工程により形成しても良い。

#### 【0300】

ゲート電極材料がポリシリコン、多結晶シリコン-ゲルマニウム混晶等の半導体により形成される場合、ゲートへの不純物導入は、ソース／ドレインへの不純物導入と同時に行っても良い。また、ゲート電極材料の堆積と同時に行っても良い。また、ゲート電極材料を堆積し、ゲート電極の形状に加工する前に行っても良い。

#### 【0301】

（ソース／ドレイン領域6）

ソース／ドレイン領域6には第一導電型の不純物が高濃度に導入される。なお、本明細書においてソース／ドレイン領域とは、バルクトランジスタにおいて浅いソース／ドレイン領域（エクステンション領域とも呼ばれる）と呼ばれる領域及び深いソース／ドレイン領域と呼ばれる領域を全て含むものとする。

#### 【0302】

F i n F E Tにおいて、エクステンション領域、深いソース／ドレイン領域の定義は一般に明確にされていないが、例えば図73（b）においてゲートに隣接する短冊状の領域に形成されるソース／ドレイン領域とゲートから離れた位置で短冊状の領域が互いに接続された領域の双方を含むものとする。

#### 【0303】

また、ソース／ドレイン領域の寄生抵抗を縮小するために、ソース／ドレイン領域の一部にシリコンなどの半導体をエピタキシャル成長させることにより、ソース／ドレイン領域をなす半導体層の大きさを上方または面内方向に拡大する手法を組み合わせる作製しても良い。

#### 【0304】

また、ソース／ドレイン領域の一部がゲート電極に覆われる領域に侵入しても良い。

#### 【0305】

（チャネル形成領域7）

チャネル形成領域7には低濃度のアクセプタまたはドナー不純物が導入される。ゲート電極が第一導電型のポリシリコンである場合は、しきい値電圧を適当な値に設定する必要から典型的には低濃度の第二導電型不純物がチャネル形成領域に導入され、チャネル形成領域は第二導電型になる。

#### 【0306】

また、チャネル形成領域のうちゲート電極に覆われ、ソース／ドレイン領域に隣接した領域に、ゲート電極に覆われ、ソース／ドレイン領域に隣接しない部分に比べて第二導電型不純物がやや高く導入された領域である、ハロー領域を設けても良い。

#### 【0307】

また、各実施形態においては、単一のチャネル形成領域からなるF i n F E Tを例に説明したが、複数のチャネル形成領域を持つF i n F E T（図73（a）または図73（b）に図示。ゲート電極5に覆われた半導体層3にチャネル形成領域がある。）において、各実施形態を適用しても良い。なお、図73のA-A'断面、B-B'断面は、各実施形態のA-A'断面、B-B'断面に相当する。

#### 【0308】

（キャップ絶縁膜8）

第四実施形態に用いられるキャップ絶縁膜8は、S i O<sub>2</sub>膜あるいはS i<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜などの単層の絶縁膜であっても良く、S i O<sub>2</sub>膜、S i<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜などの絶縁膜よりなる多層膜であっても良い。キャップ絶縁膜8の厚さは典型的には10nmから100nm、より典型的には10nmから50nmであるが、ゲート絶縁膜厚に対して最低でも2倍以上の膜厚が

あればよいので、ゲート絶縁膜が薄い場合は10nm以下であっても良い。

#### 【0309】

(チャネル不純物濃度調整領域10)

本発明の各実施形態においては、チャネル不純物濃度調整領域が半導体層の上部だけに設けられる場合、チャネル不純物濃度調整領域の不純物濃度は、チャネル不純物濃度調整領域が設けられない場合に比べて(すなわちチャネル不純物濃度調整領域の不純物濃度をNで置き換えた場合に比べて)半導体層の上部コーナー部での電位上昇を低減できるNto pとNとの関係を満たすように設定される。この時、半導体層の上部コーナー部での電位上昇低減量は、典型的には半導体層の上部コーナー部の少なくとも一部の領域で、60mV以上(60mVの低減は寄生トランジスタによる漏れ電流が一桁減少する条件に相当。)の低減であることが望ましい。

#### 【0310】

本発明の各実施形態においては、チャネル不純物濃度調整領域が半導体層の下部に設けられる場合、半導体層の下部に設けられるチャネル不純物濃度調整領域の不純物濃度は、半導体層の下部にチャネル不純物濃度調整領域が設けられない場合に比べて(すなわち半導体層下部のチャネル不純物濃度調整領域の不純物濃度をNで置き換えた場合に比べて)半導体層の下部コーナー部での電位上昇を低減できるように設定される。この時、半導体層の下部コーナー部での電位上昇低減量は、典型的には半導体層下部コーナー部の少なくとも一部の領域で、60mV以上の低減であることが望ましい。

#### 【0311】

(ゲート側壁14)

ゲート側壁14は、SiO<sub>2</sub>膜あるいはSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜などの単層の絶縁膜であっても良く、SiO<sub>2</sub>膜、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜などの絶縁膜よりなる多層膜であっても良い。またSiO<sub>2</sub>より誘電率が低い材料で形成しても良い。ゲート側壁14の厚さは通常20nmから150nmであるが、素子の微細化が必要な場合等には20nm以下としても良い。

#### 【0312】

(シリサイド層15)

シリサイド層15は、典型的にはチタンシリサイド、コバルトシリサイド、ニッケルシリサイド、あるいは白金シリサイド等の材料からなるが、これら以外のシリサイドを用いても良い。シリサイド層15は例えばチタン、コバルト、ニッケル、白金などの金属をスパッタリング法などの堆積技術でソース/ドレイン領域上に堆積し、熱処理を行うことによって金属とシリコン層との間でシリサイド化反応を起こすことにより形成する。

#### 【0313】

(コンタクト17及び配線18)

コンタクト17及び配線18は、通常のコンタクト形成工程及び通常の配線工程により形成される。コンタクト17及び配線18は通常アルミ、銅などの金属により形成され、TiNなど他の導電性材料が適宜組み合わせられる。

#### 【0314】

(半導体層38)

半導体層38は単結晶であることが、オン電流の向上及びオフ電流の抑制という観点から最も望ましいが、要求されるオン電流の仕様が低い場合、または要求されるオフ電流の仕様が大きい場合は、アモルファス、多結晶など単結晶以外の材料であっても良い。

#### 【0315】

また、半導体層38をシリコン以外の半導体層で置き換えても良い。また、二種類以上の半導体の組み合わせによって置き換えて良い。

#### 【0316】

(不純物の導入)

イオン注入によって導入される不純物の種類及び濃度は、ソース/ドレイン領域、ゲート電極などの高濃度領域においては、典型的には $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ から $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ のドナー不純物もしくはアクセプタ不純物が導入される。より典型的には、 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$

$\text{m}^{-3}$  から  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  のドナー不純物もしくはアクセプタ不純物が導入される。不純物の導入は例えばイオン注入、あるいは気相拡散により行う。イオン注入時の典型的なドーピング量は  $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  から  $3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 、より典型的には  $3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  から  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  である。

#### 【0317】

チャネル不純物濃度調整領域を除いたチャネル形成領域などの低濃度領域におけるネット不純物濃度（第一導電型不純物濃度と、第二導電型不純物濃度の差の絶対値）は、典型的には  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  から  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、より典型的には  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  から  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  である。

#### 【0318】

但し、これらの典型的な不純物濃度を各領域の主要部分に持つトランジスタにおいても、イオン注入の条件によっては局所的にこれらの典型的な値を超える場合がある。

#### 【0319】

ソース／ドレイン領域に導入する第一導電型の不純物、及びゲート電極に導入する第一導電型の不純物は、nチャネルトランジスタの場合はn型の導電型を持つドナー不純物を、pチャネルトランジスタの場合はp型の導電型を持つアクセプタ不純物を選べば良い。

#### 【0320】

ハロー領域に導入される第二導電型の不純物は、nチャネルトランジスタの場合はp型の導電型を持つアクセプタ不純物を、pチャネルトランジスタの場合はn型の導電型を持つドナー不純物を選べば良い。

#### 【0321】

n型不純物の典型例はヒ素、リン、アンチモンである。p型不純物は典型例はホウ素、インジウムである。

#### 【0322】

イオン注入した不純物の活性化は、イオン注入後、通常の電気炉によるアニール、ランプラアニールなどの加熱処理によって行う。なお、チャネル領域へ注入したイオンを活性化するための熱処理は、イオン注入直後に行っても良く、ソース／ドレイン領域に導入した不純物を活性化するための熱処理で兼ねても良い。

#### 【0323】

ソース／ドレイン領域への不純物の導入はゲート電極の形成後にゲート電極に覆われていない領域に対して導入する方法を用いてもよく、またゲート電極の形成よりも前に、ソース／ドレイン領域が形成されるべき領域にあらかじめ不純物を導入しておく方法を用いても良い。

#### 【0324】

(ソース／ドレイン領域6、コンタクト17、配線18の配置)

各実施形態におけるソース／ドレイン領域6、層間絶縁膜16、コンタクト17、配線18等、半導体装置を構成する各部分の配置は通常のFinFETと同様である。例えば第一実施形態を説明する図4及び図5に図示される配置と同じ配置をとる。

#### 【0325】

(チャネルタイプ)

なお各実施形態においては、主にnチャネルトランジスタについて説明したが、本発明は、nチャネルトランジスタ、pチャネルトランジスタのいずれにも適用される。pチャネルトランジスタにおいては、極性を逆にすれば（例えば、nチャネルトランジスタにおける電位上昇を、pチャネルトランジスタにおいては電位低下と読みかえる。また、nチャネルトランジスタにおけるしきい値電圧の低下を、pチャネルトランジスタにおいてはしきい値電圧の上昇と読みかえる。また、電圧や電位が高いという記載を電圧や電位が低いと読みかえる。また、ドレイン電圧など印加電圧の符号を逆にする。）同様の議論が成り立つ。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0326】



- 【図 1】 第一実施形態を説明する断面図
- 【図 2】 第一実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 3】 第一実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 4】 第一実施形態を説明する断面図
- 【図 5】 第一実施形態を説明する平面図
- 【図 6】 第一実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 7】 第一実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 8】 第一実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 9】 発明の効果を説明する図面
- 【図 10】 発明の効果を説明する図面
- 【図 11】 第二実施形態を説明する平面図
- 【図 12】 第二実施形態を説明する平面図
- 【図 13】 第二実施形態を説明する平面図
- 【図 14】 第二実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 15】 第二実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 16】 第二実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 17】 第二実施形態を説明する断面図
- 【図 18】 第二実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 19】 第二実施形態を説明する断面図
- 【図 20】 第二実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 21】 第二実施形態を説明する断面図
- 【図 22】 第三実施形態を説明する断面図
- 【図 23】 第三実施形態を説明する断面図
- 【図 24】 第三実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 25】 第三実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 26】 第三実施形態を説明する断面図
- 【図 27】 第三実施形態を説明する平面図
- 【図 28】 第三実施形態を説明する平面図
- 【図 29】 第三実施形態を説明する平面図
- 【図 30】 第三実施形態を説明する平面図
- 【図 31】 従来技術を説明する平面図
- 【図 32】 従来技術を説明する断面図
- 【図 33】 従来技術を説明する断面図
- 【図 34】 従来技術における課題の説明図
- 【図 35】 従来技術を説明する断面図
- 【図 36】 従来技術における課題の説明図
- 【図 37】 従来技術を説明する斜視図
- 【図 38】 従来技術を説明する断面図
- 【図 39】 従来技術における問題点を説明する断面図
- 【図 40】 従来技術における問題点を説明する断面図
- 【図 41】 第四実施形態を説明する断面図
- 【図 42】 第四実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 43】 第四実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 44】 第四実施形態を説明する断面図
- 【図 45】 第四実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 46】 第四実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 47】 第四実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 48】 第四実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 49】 第四実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 50】 第四実施形態を説明する断面図及び平面図

- 【図 5 1】 第四実施形態を説明する断面図
- 【図 5 2】 第四実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 5 3】 第四実施形態を説明する断面図
- 【図 5 4】 第四実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 5 5】 第四実施形態を説明する断面図
- 【図 5 6】 第四実施形態を説明する断面図
- 【図 5 7】 第四実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 5 8】 第四実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 5 9】 第四実施形態を説明する断面図
- 【図 6 0】 突起した半導体層の幅  $W_{fin}$  と電界集中が起きる半導体層の深さ  $H_{corner}$  の関係を示す図
- 【図 6 1】 突起した半導体層におけるチャネル不純物濃度調整領域の深さ  $H_{top}$  の定義を説明する図
- 【図 6 2】 突起した半導体層におけるチャネル不純物濃度調整領域の深さ  $H_{top}$  の定義を説明する図
- 【図 6 3】 突起した半導体層におけるチャネル不純物濃度調整領域の深さ  $H_{top}$  の定義を説明する図
- 【図 6 4】 突起した半導体層におけるチャネル不純物濃度調整領域の深さ  $H_{top}$  の定義を説明する図
- 【図 6 5】 突起した半導体層におけるチャネル不純物濃度調整領域の深さ  $H_{top}$  の定義を説明する図
- 【図 6 6】 突起した半導体層におけるチャネル不純物濃度調整領域の深さ  $H_{top}$  の定義を説明する図
- 【図 6 7】 突起した半導体層におけるチャネル不純物濃度調整領域の深さ  $H_{top}$  の定義を説明する図
- 【図 6 8】 突起した半導体層におけるチャネル不純物濃度調整領域の深さ  $H_{top}$  の定義を説明する図
- 【図 6 9】 本発明の好ましい実施形態を説明する図
- 【図 7 0】 本発明の好ましい実施形態を説明する図
- 【図 7 1】 第二実施形態の効果を説明する図
- 【図 7 2】 第二実施形態の効果を説明する図
- 【図 7 3】 本発明の実施形態を説明する平面図
- 【図 7 4】 第五実施形態を説明する断面図
- 【図 7 5】 第五実施形態を説明する断面図
- 【図 7 6】 第五実施形態を説明する断面図
- 【図 7 7】 第五実施形態を説明する断面図
- 【図 7 8】 第一実施形態を説明する断面図及び平面図
- 【図 7 9】 本発明の実施形態を説明する断面図
- 【図 8 0】 第五実施形態を説明する断面図
- 【図 8 1】 第二実施形態を説明する平面図
- 【図 8 2】 第二実施形態を説明する平面図
- 【図 8 3】 発明の効果を説明する図面

## 【符号の説明】

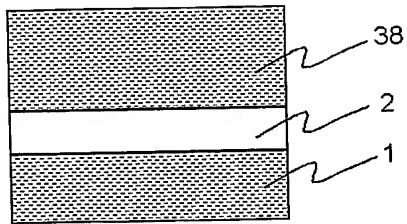
【0327】

1. 支持基板
2. 埋め込み絶縁層
3. 半導体層
4. ゲート絶縁膜
5. ゲート電極
6. ソース／ドレイン領域

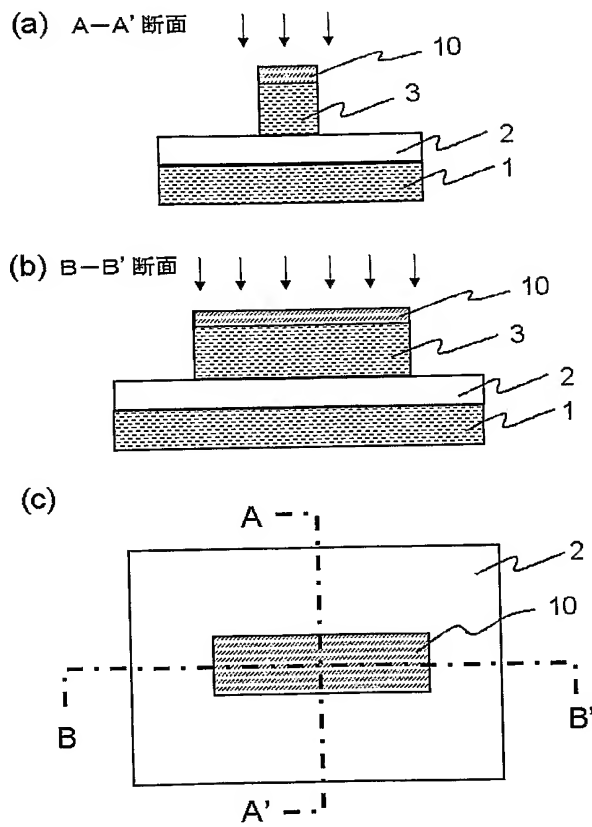
- 7. チャネル形成領域
- 8. キャップ絶縁膜
- 9. 丸めたコーナー部
- 10. チャネル不純物濃度調整領域
- 11. 下部チャネル不純物濃度調整領域
- 12. エピタキシャル層
- 13. 低濃度チャネル形成領域
- 14. ゲート側壁
- 15. シリサイド層
- 16. 層間絶縁膜
- 17. コンタクト
- 18. 配線
- 19. 上部チャネル不純物濃度調整領域
- 20.  $p^+$ 領域
- 21. フィールド絶縁膜
- 22. レジストパターン
- 23. 半導体層上面
- 24. 半導体層上部側面
- 25. 半導体層側面
- 26. 第二導電型不純物がイオン注入された領域
- 27. ハロー領域
- 28. やや濃度が高い領域
- 29. 上部のやや濃度が高い領域
- 30. 下部のやや濃度が高い領域
- 31. 中濃度第二導電型半導体層
- 32. 上部中濃度第二導電型半導体層
- 34. 上部コーナー部
- 35. 下部コーナー部
- 36.  $SiO_2$ よりなるキャップ絶縁膜
- 37. 上部コーナー部
- 38. 半導体層
- 39. ゲート下絶縁膜
- 40. バルク半導体基板
- 42. ソース
- 43. ドレイン
- 45. 犠牲酸化膜

【書類名】 図面

【図 1】

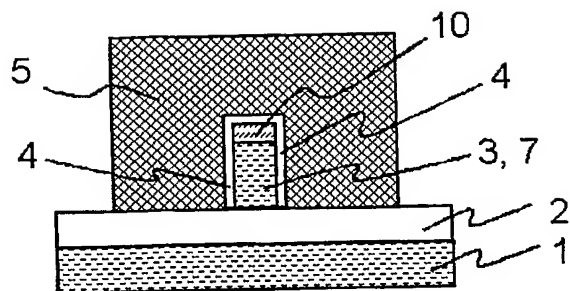


【図 2】

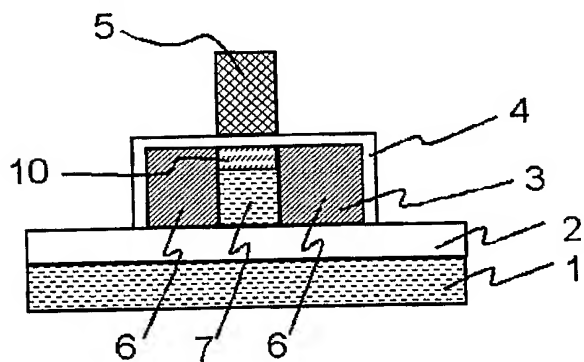


【図 3】

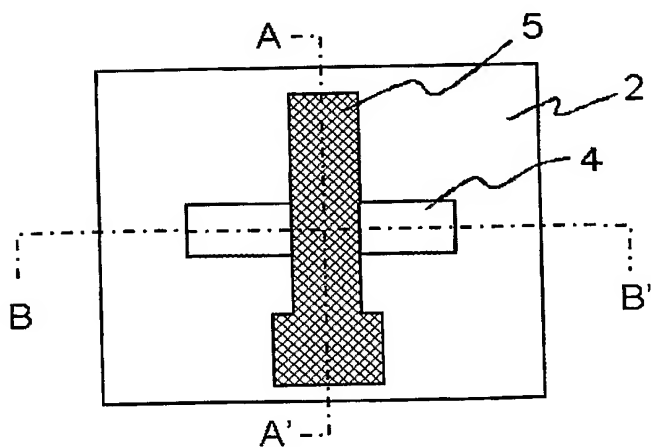
(a) A-A' 断面



(b) B-B' 断面

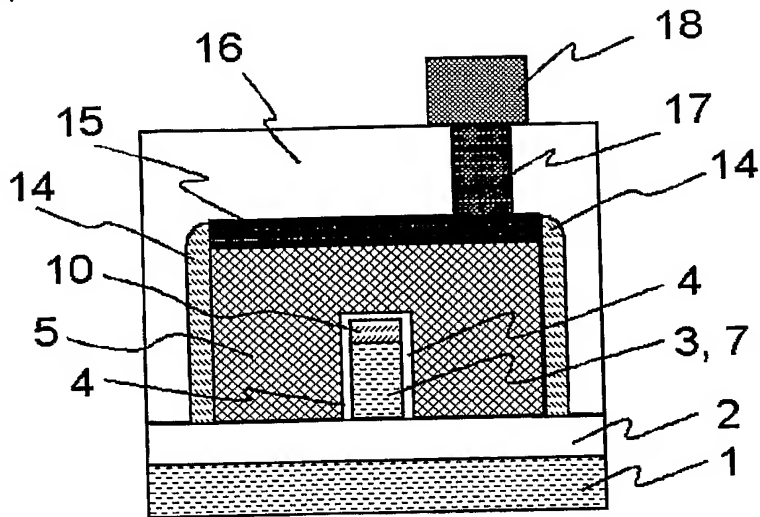


(c)

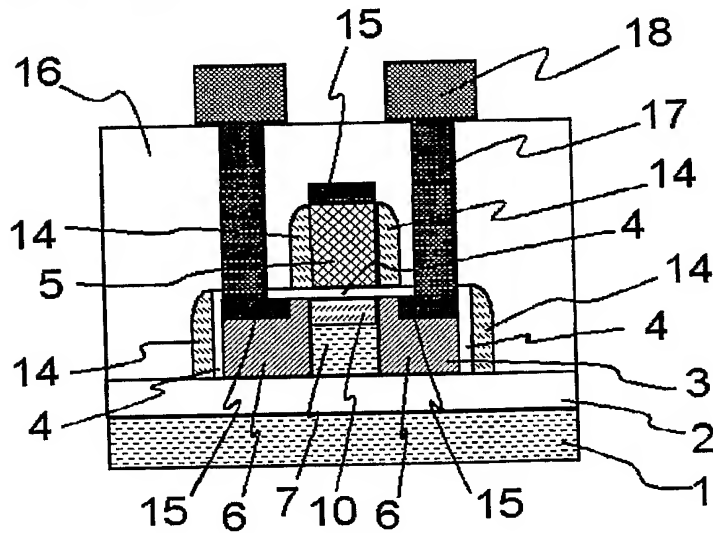


【図 4】

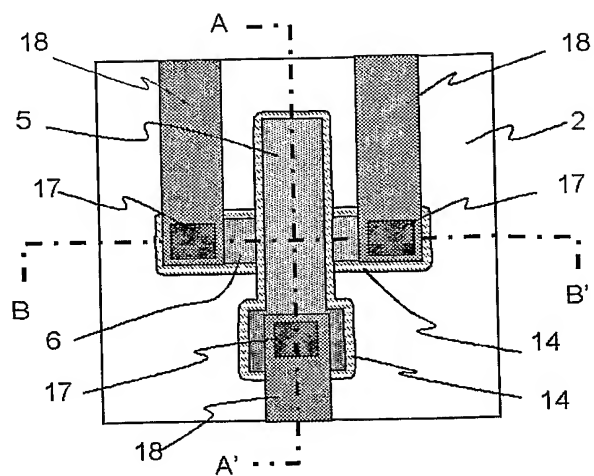
(a) A-A' 断面



(b) B-B' 断面

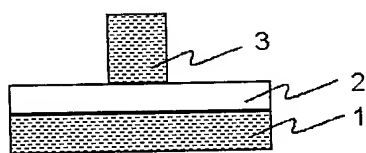


【図 5】

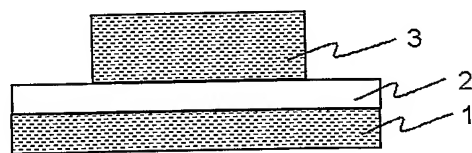


【図 6】

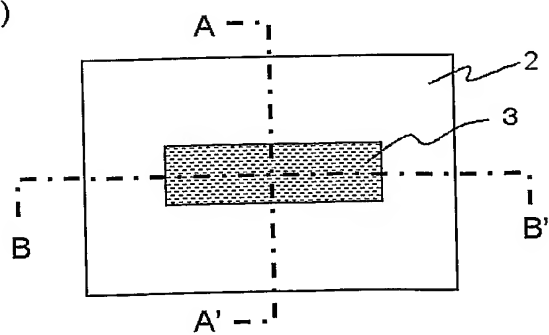
(a) A-A' 断面



(b) B-B' 断面



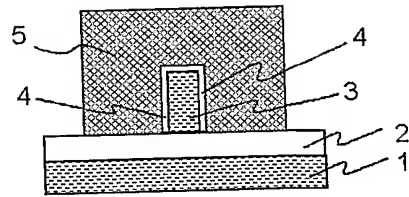
(c)



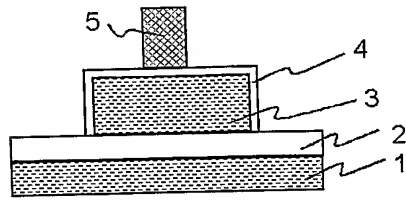


【図 7】

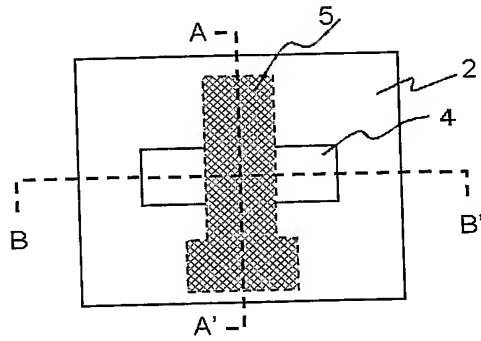
(a) A-A' 断面



(b) B-B' 断面

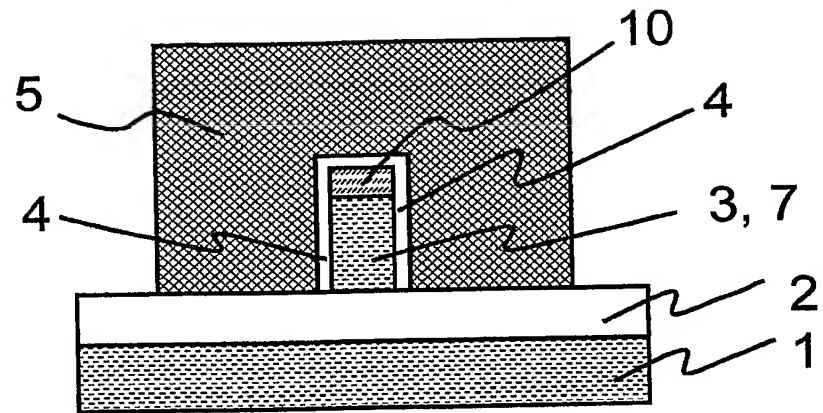


(c)

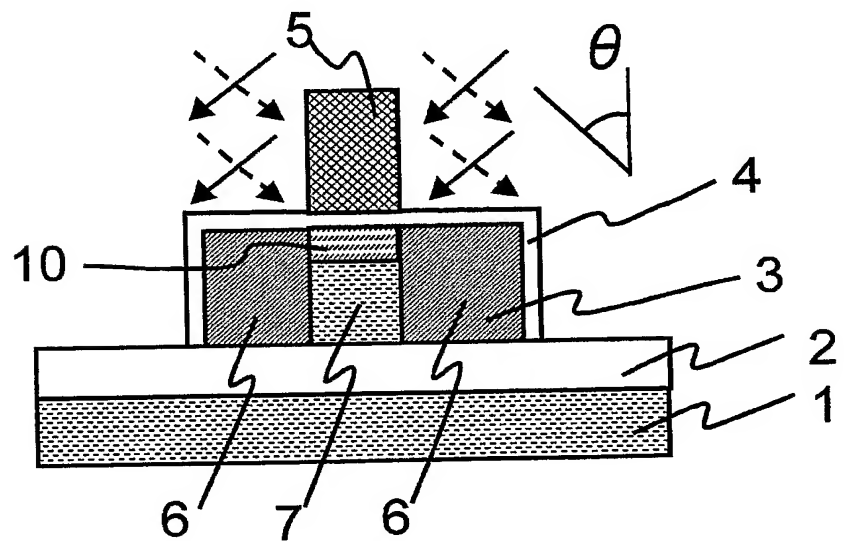


【図 8】

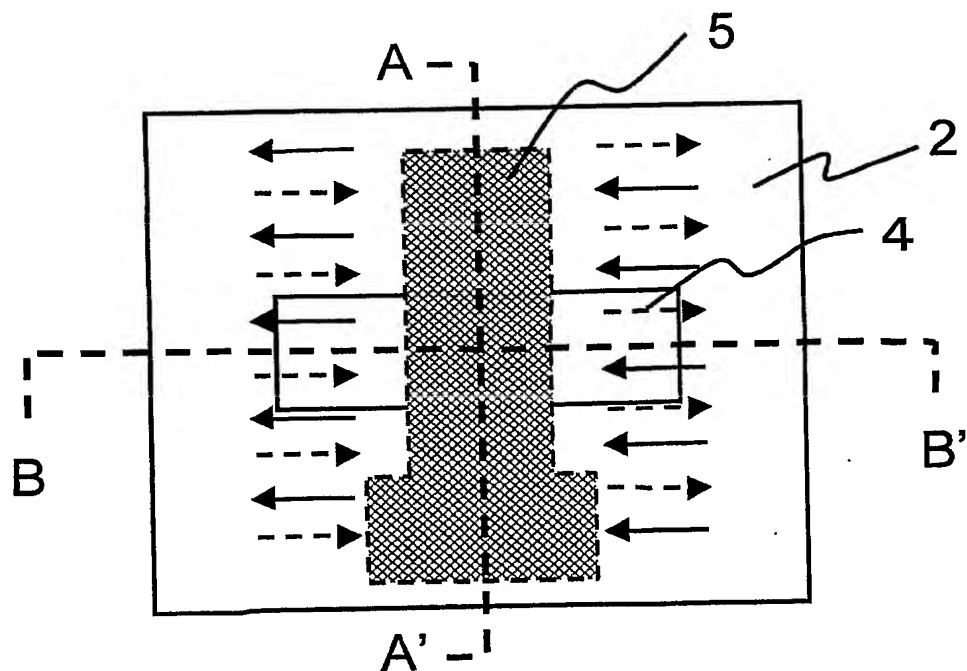
(a) A-A' 断面



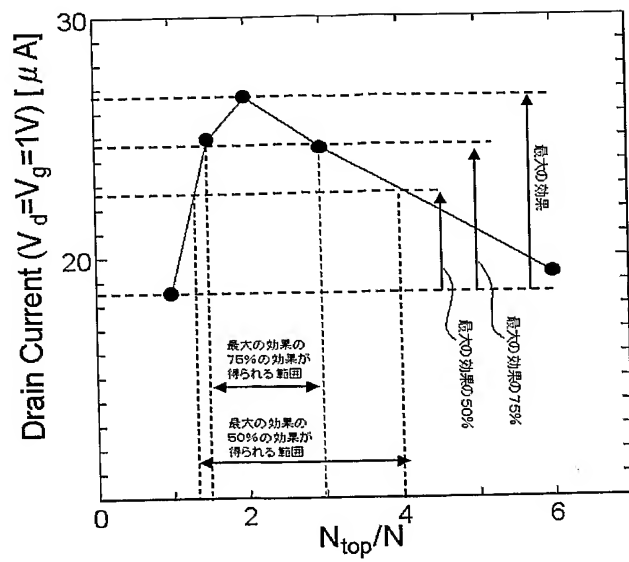
(b) B-B' 断面



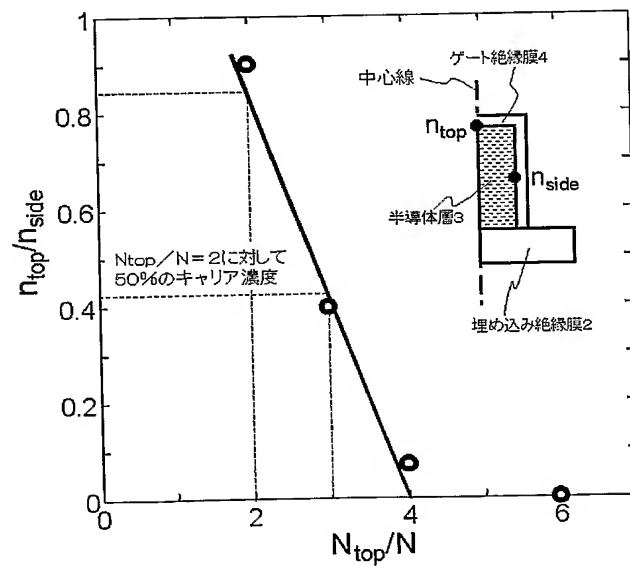
(c)



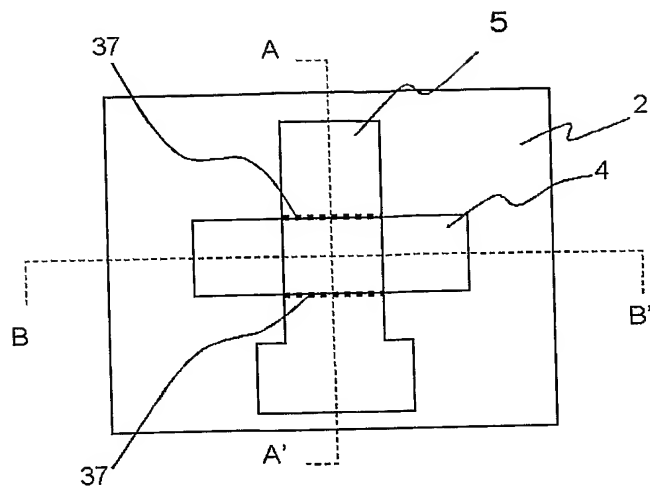
【図 9】



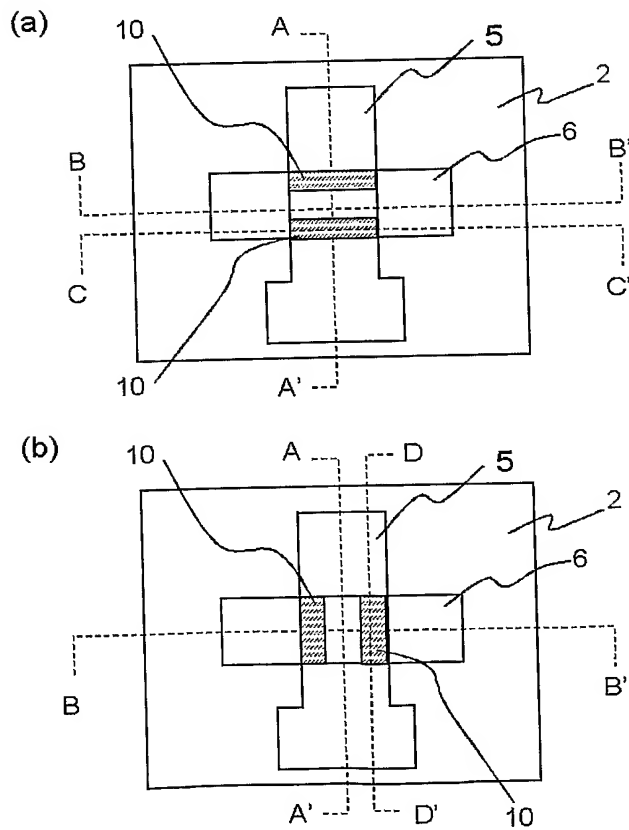
【図 10】



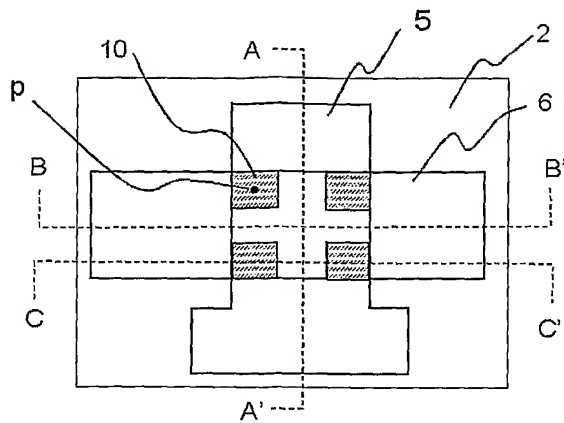
【図 11】



【図 12】

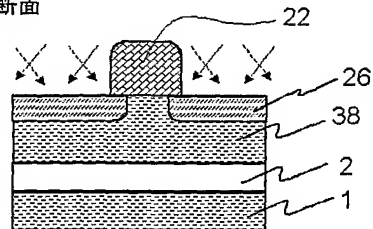


【図 13】

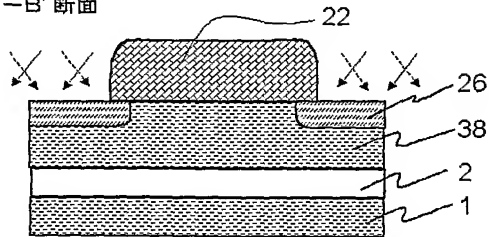


【図 14】

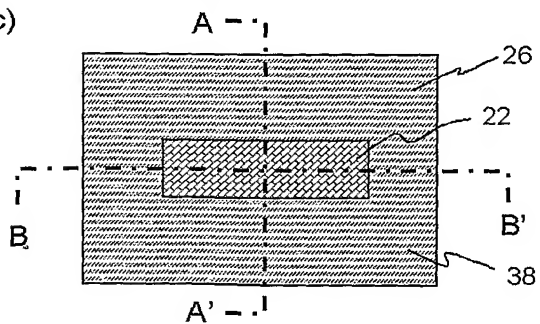
(a) A-A' 断面



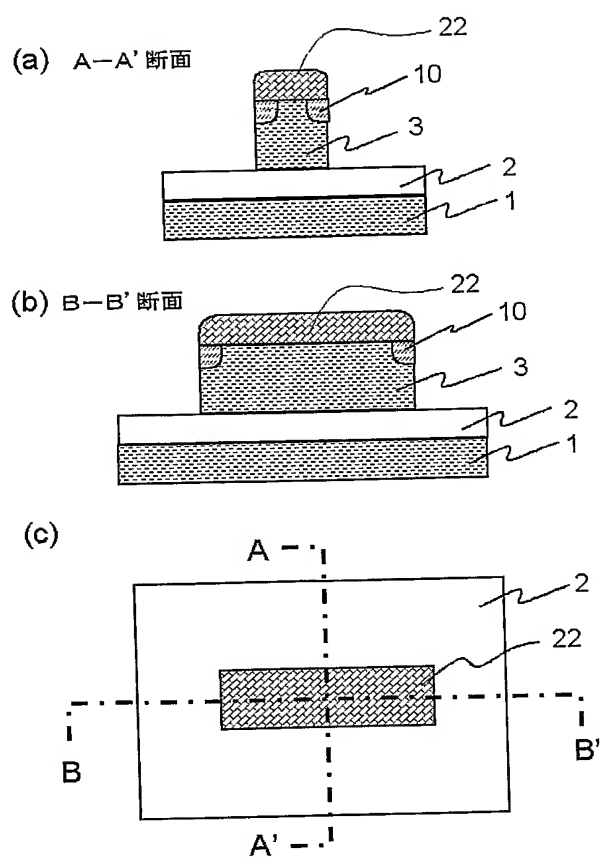
(b) B-B' 断面



(c)

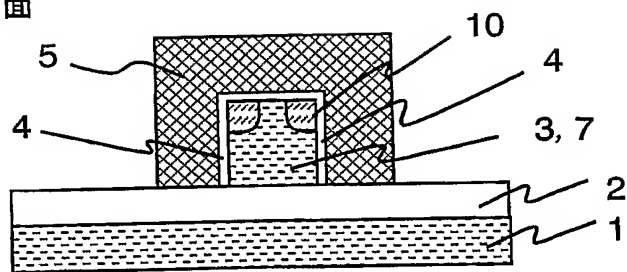


【図 15】

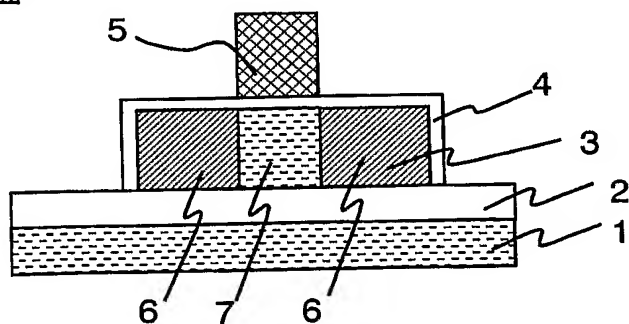


【図 16】

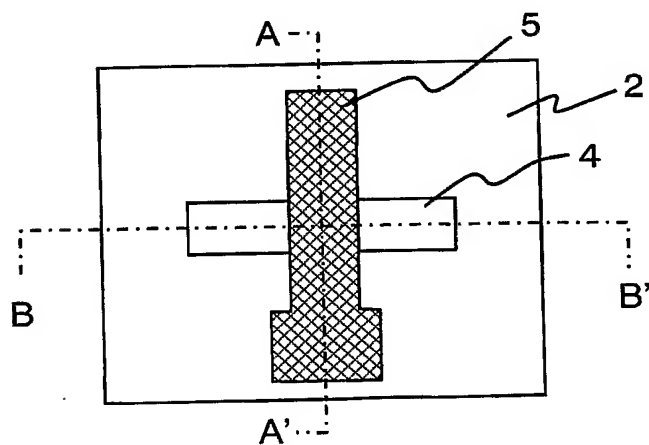
(a) A-A' 断面



(b) B-B' 断面



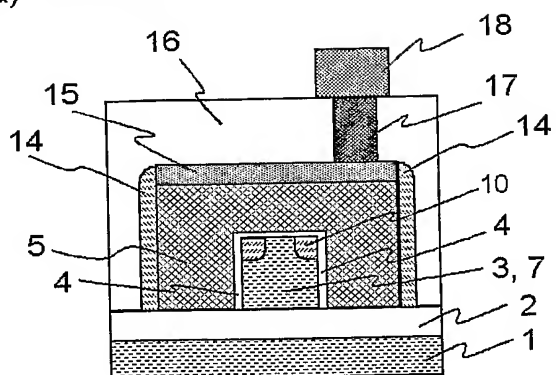
(c)



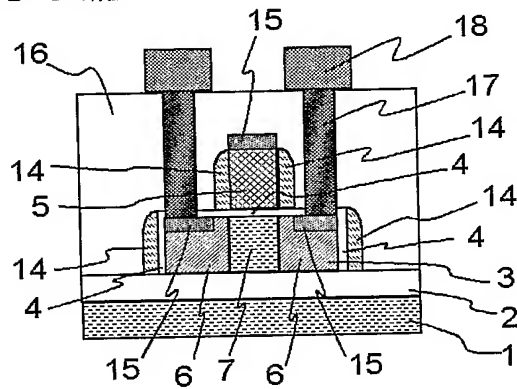


【図 17】

(a) A-A' 断面

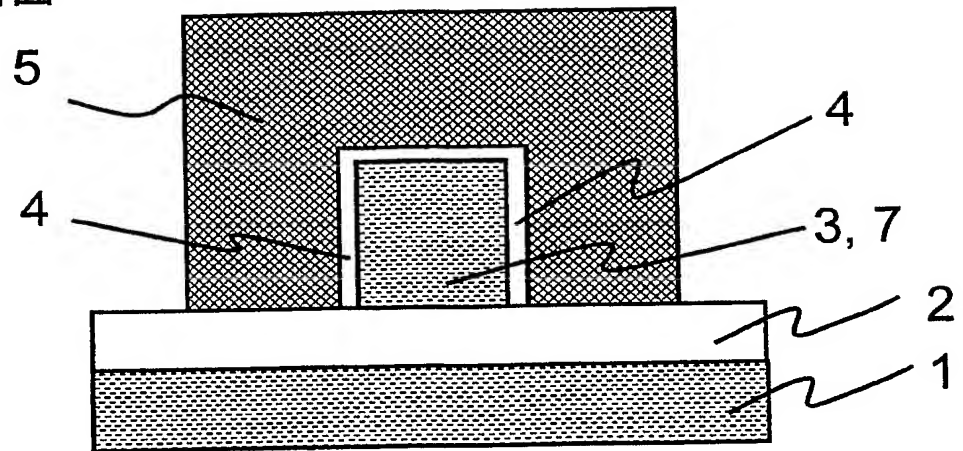


(b) B-B' 断面

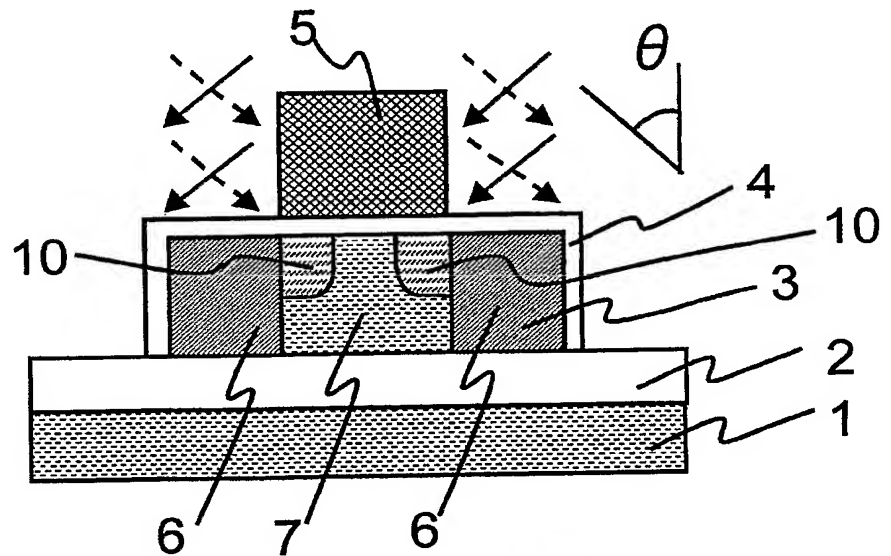


【図 18】

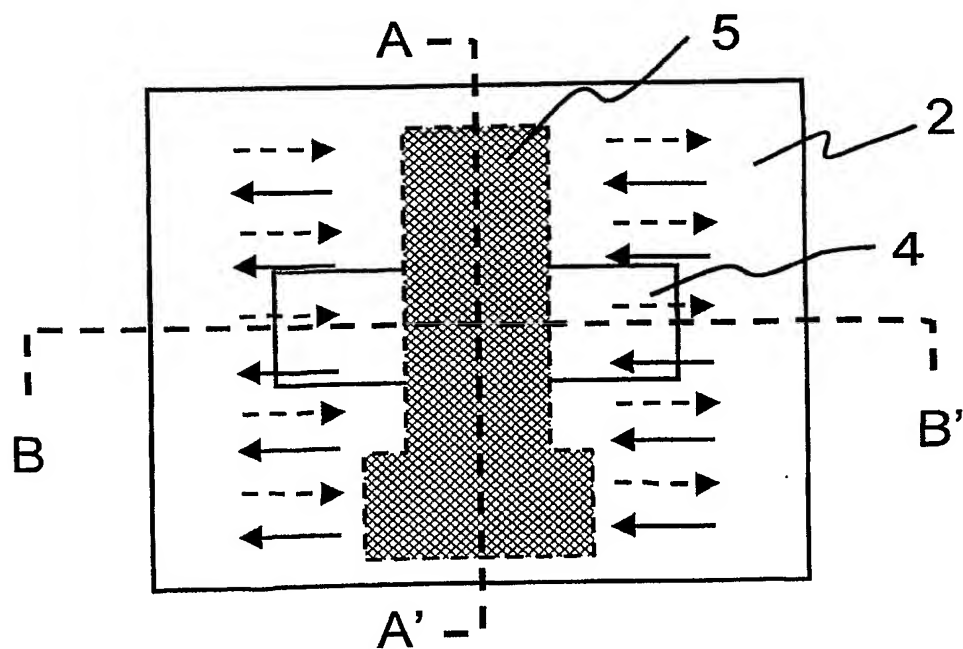
(a) A-A' 断面



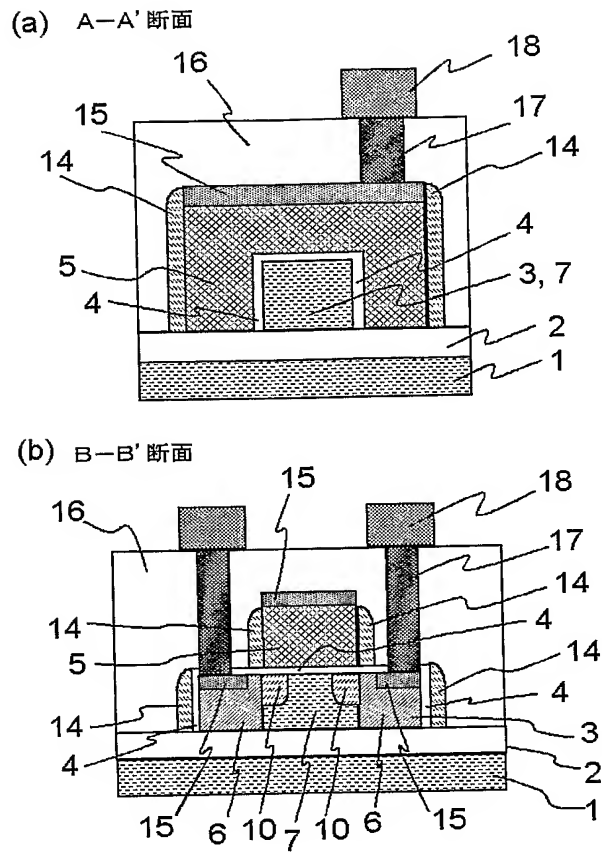
(b) B-B' 断面



(c)

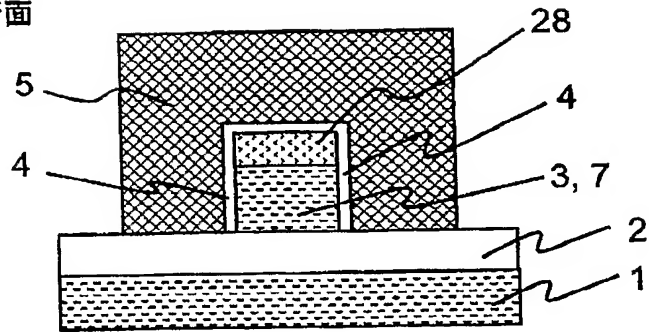


【図 19】

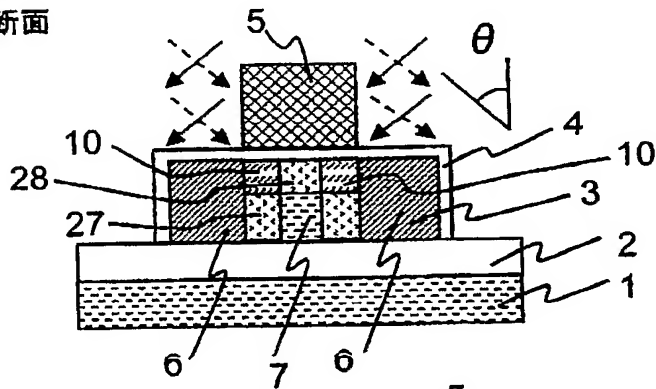


【図 20】

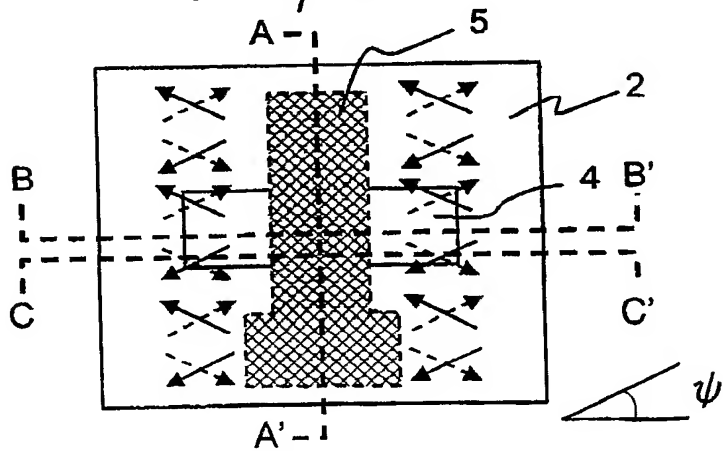
(a) A-A' 断面



(b) C-C' 断面

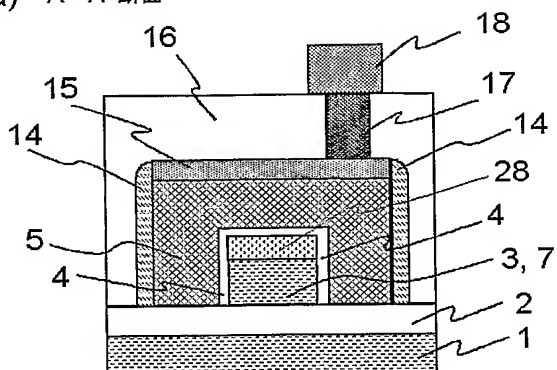


(c)

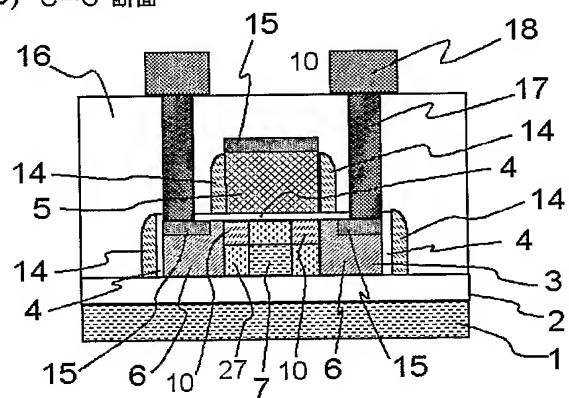


【図 21】

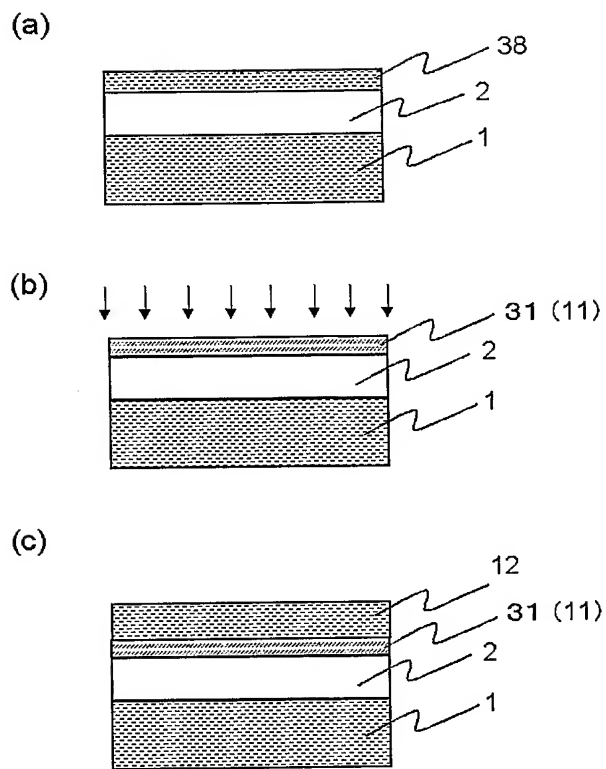
(a) A-A' 断面



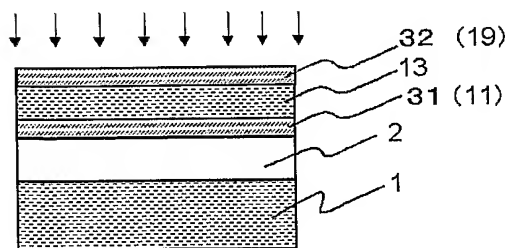
(b) C-C' 断面



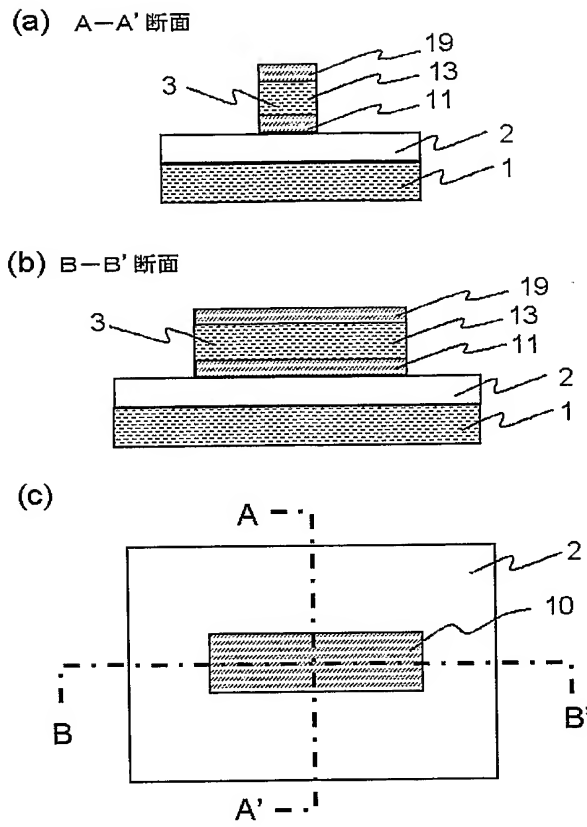
【図 2 2】



【図 2 3】



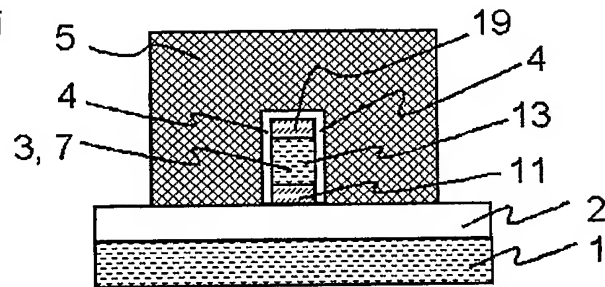
【図 24】



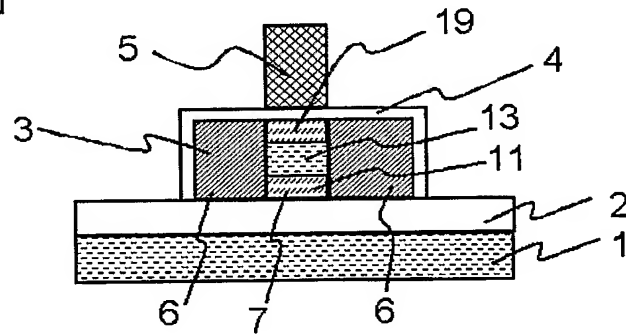


【図 25】

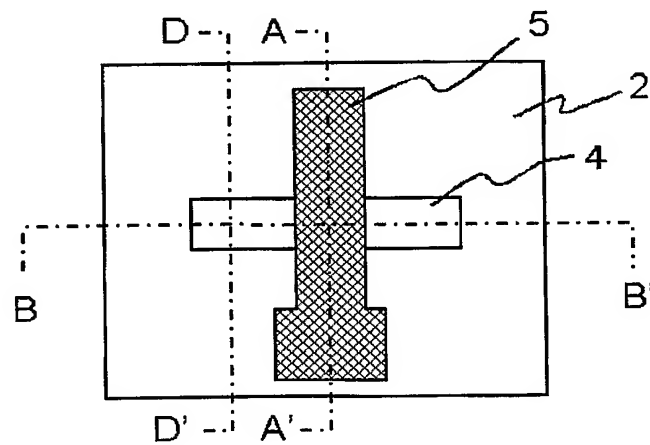
(a) A-A' 断面



(b) B-B' 断面

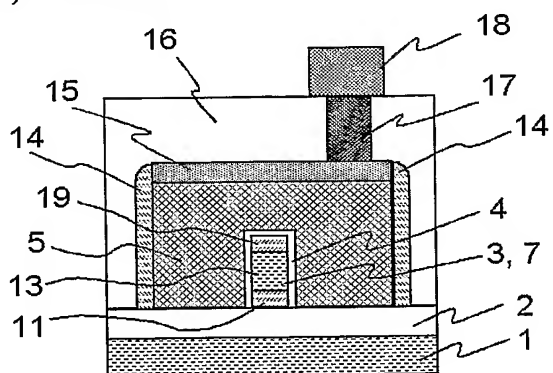


(c)

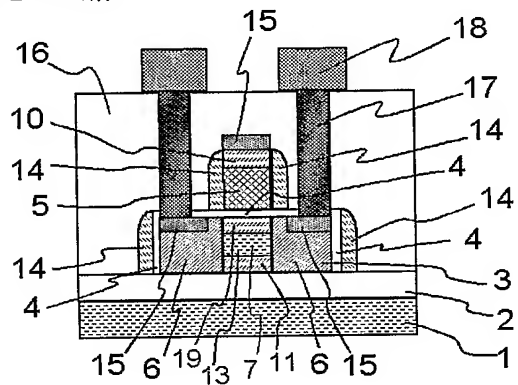


【図 26】

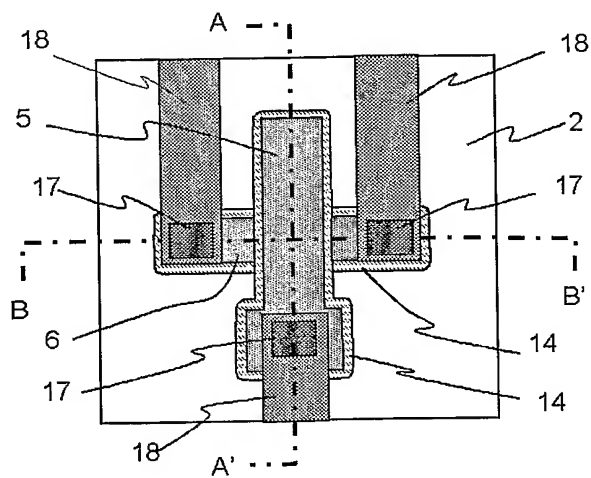
(a) A-A' 断面



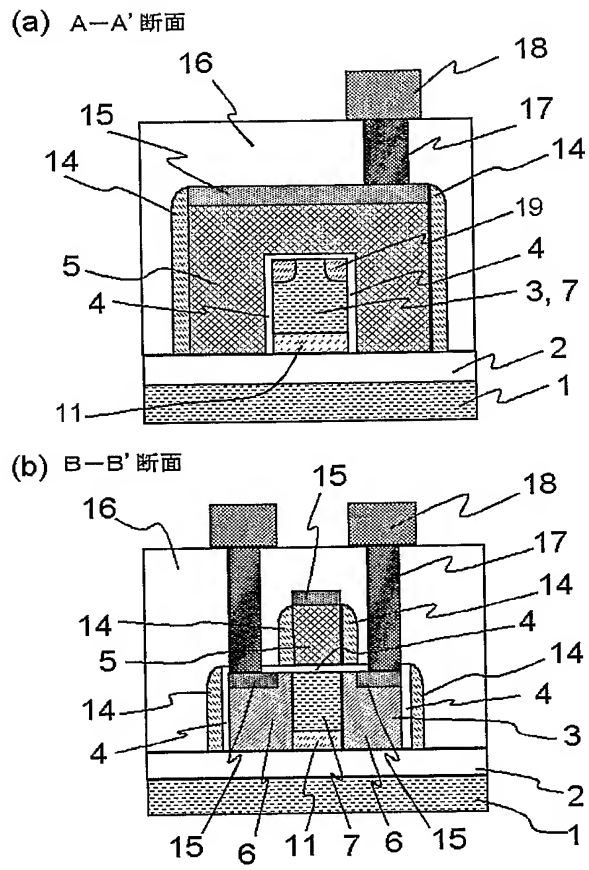
(b) B-B' 断面



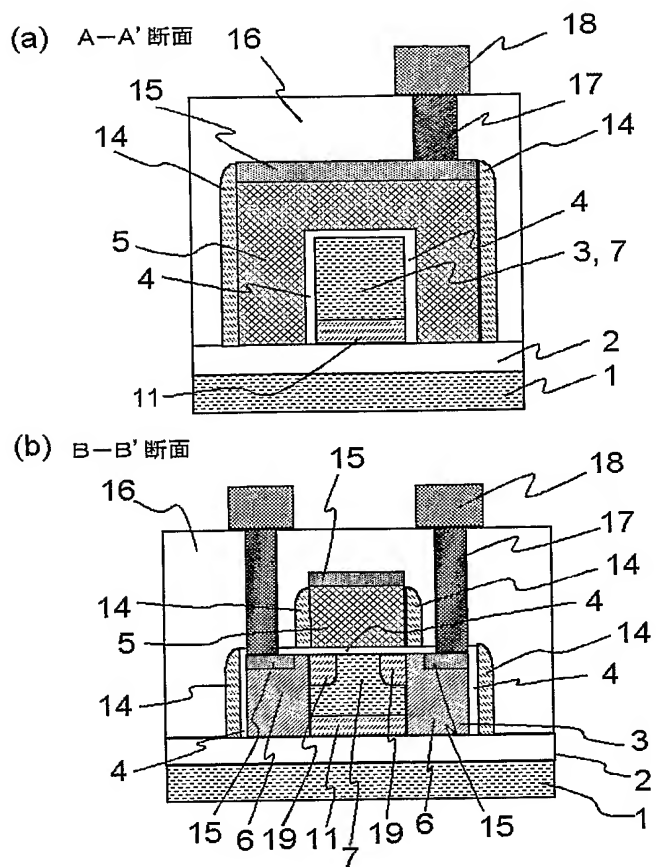
【図 27】



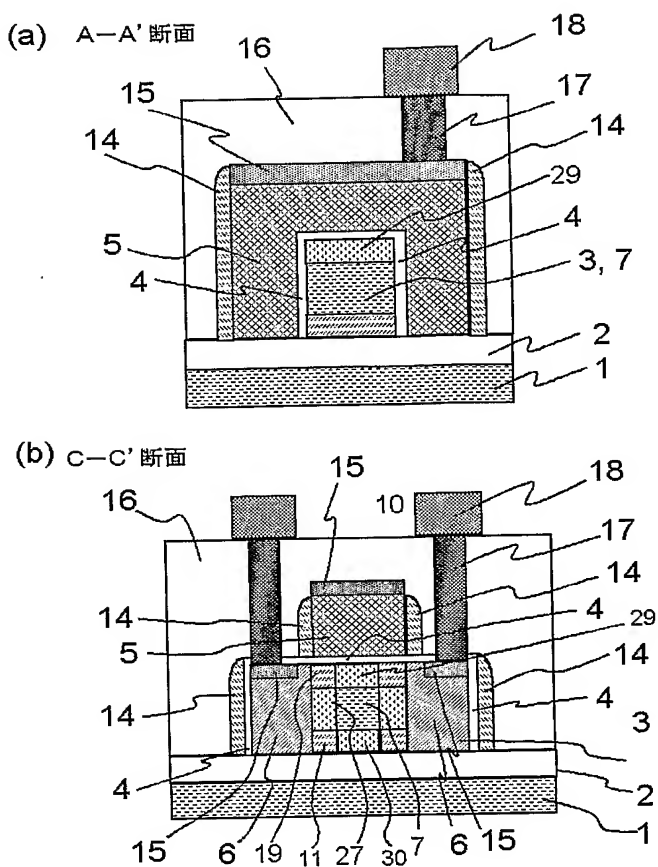
【図 28】



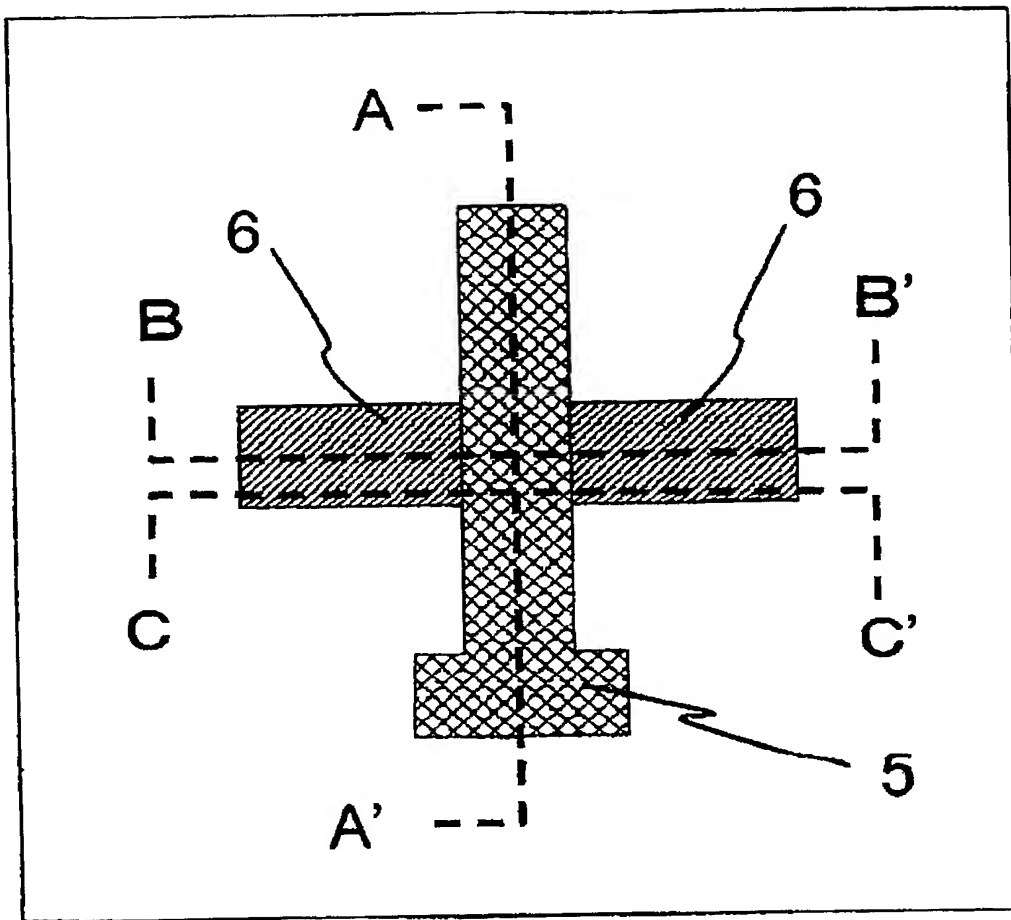
【図 29】



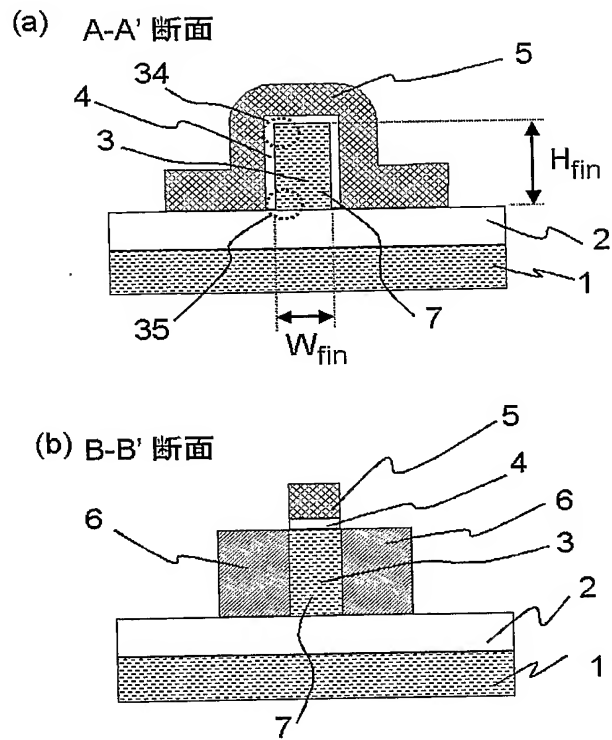
【図 30】



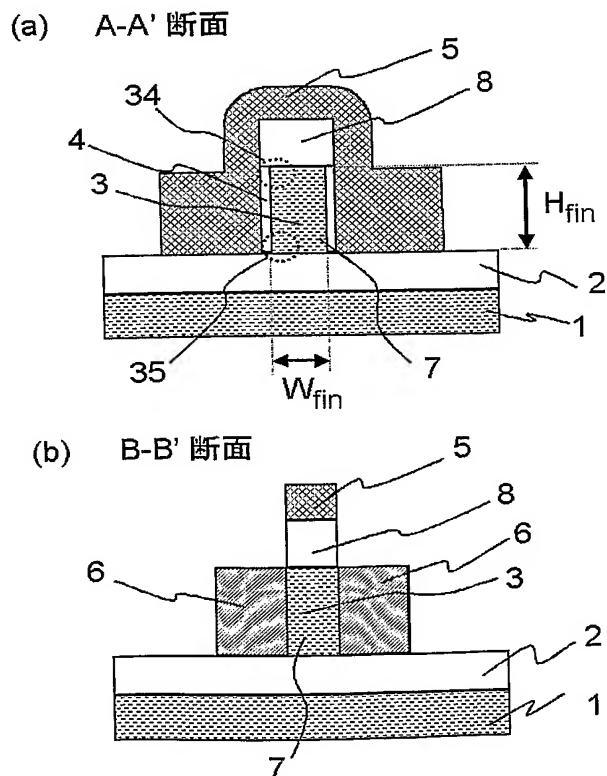
【図 31】



【図 3 2】

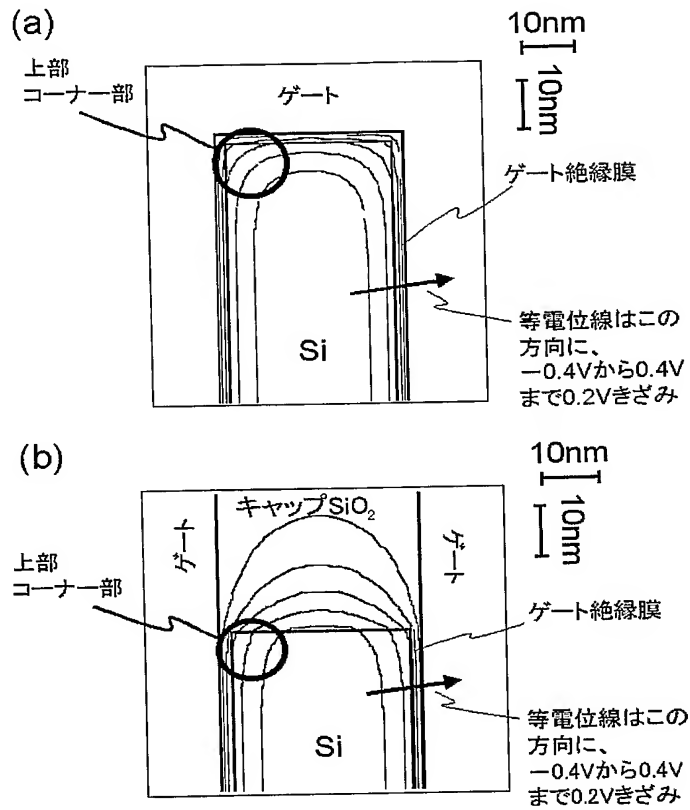


【図 3 3】



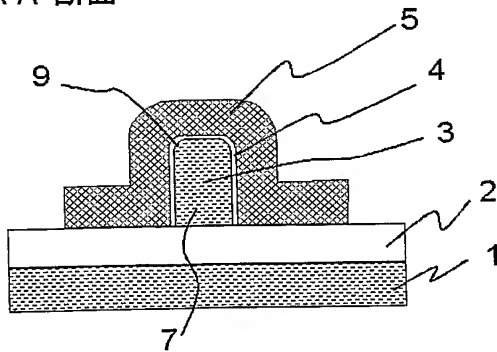


【図 3 4】

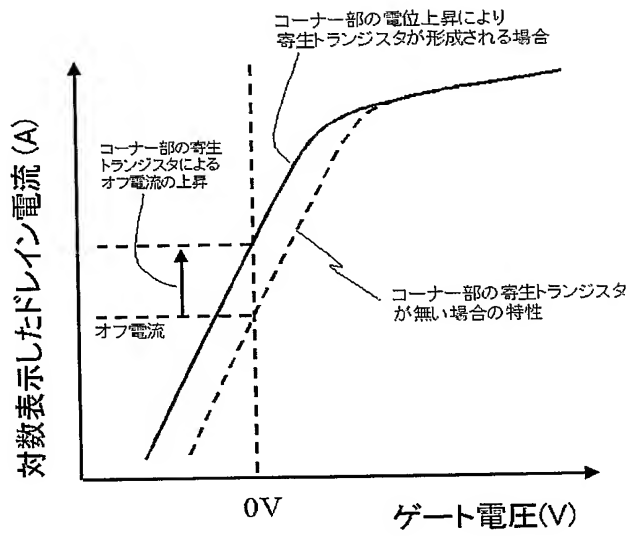


【図 3 5】

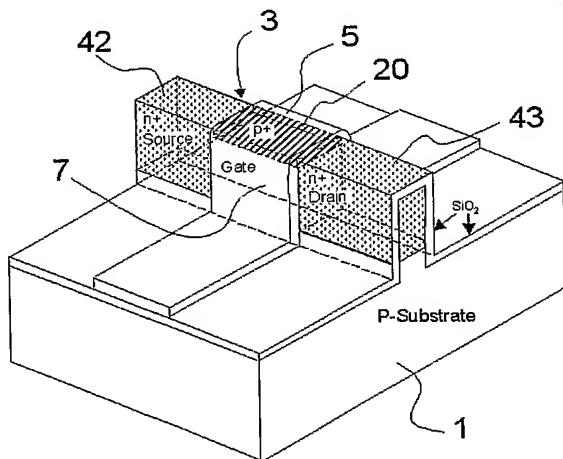
A-A' 断面



【図 36】

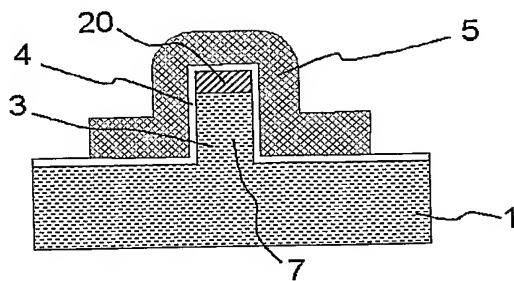


【図 37】

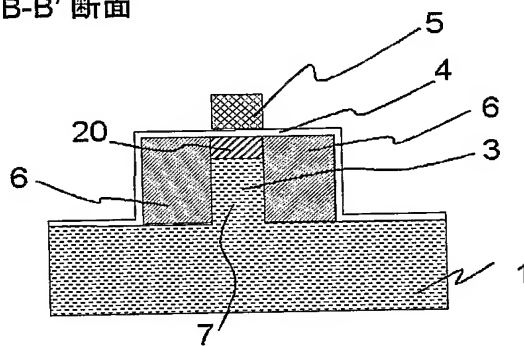


【図 38】

(a) A-A' 断面

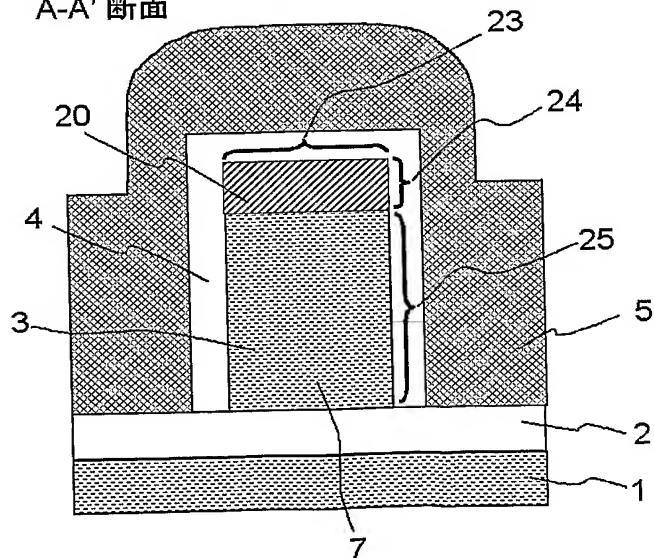


(b) B-B' 断面



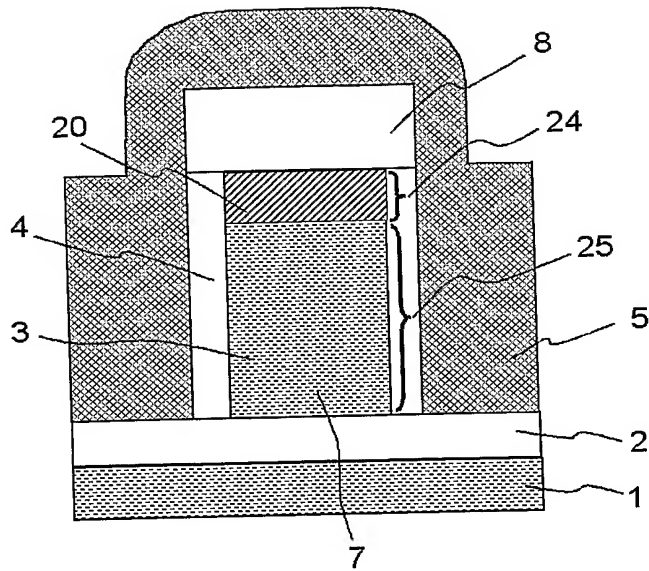
【図 39】

A-A' 断面

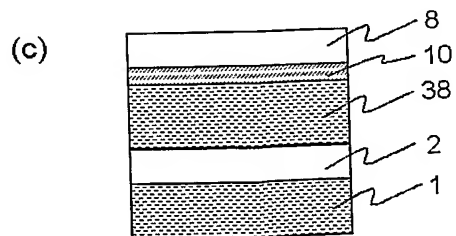
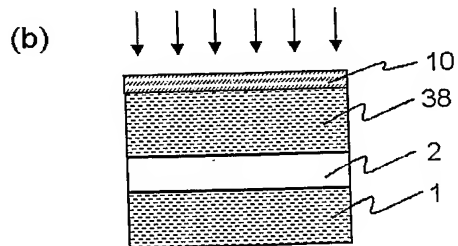
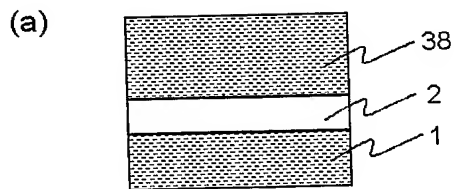


【図 40】

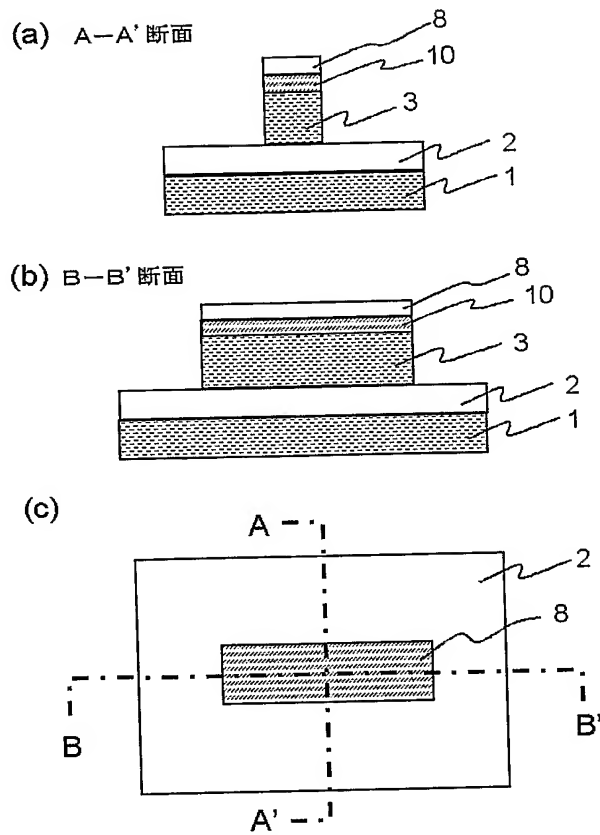
A-A' 断面



【図 41】

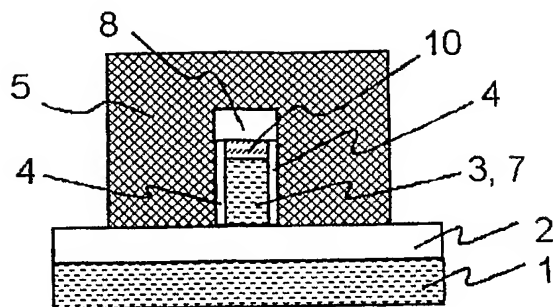


【図 4 2】

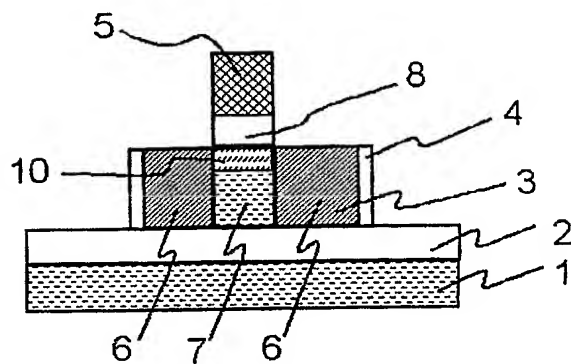


【図 43】

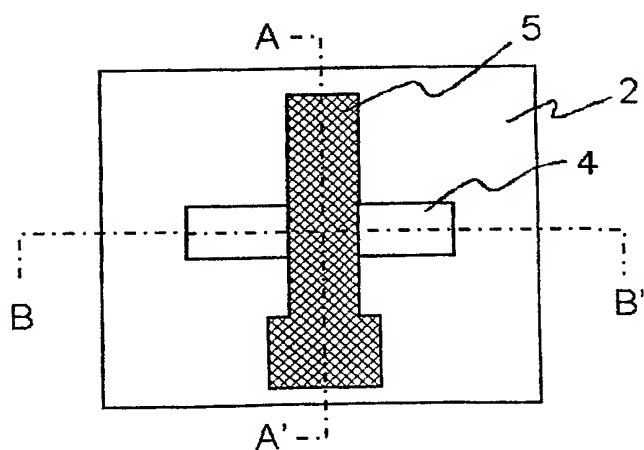
(a) A-A' 断面



(b) B-B' 断面

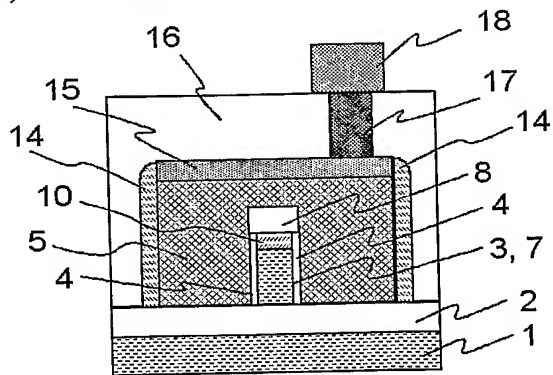


(c)

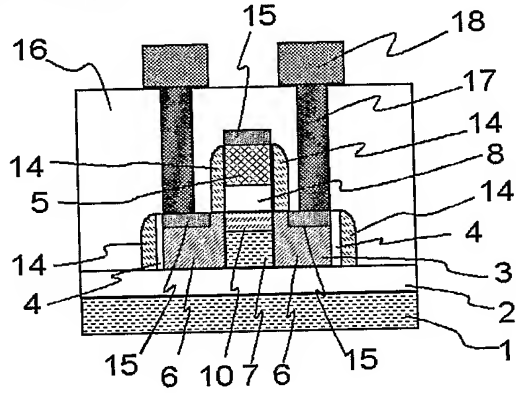


【図 4 4】

(a) A-A' 断面



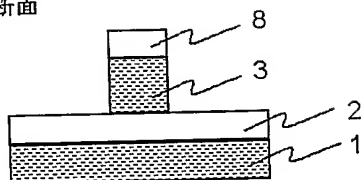
(b) B-B' 断面



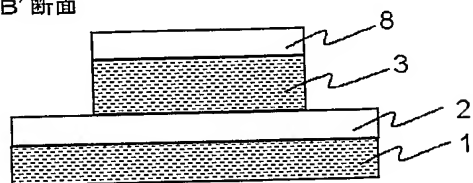


【図 45】

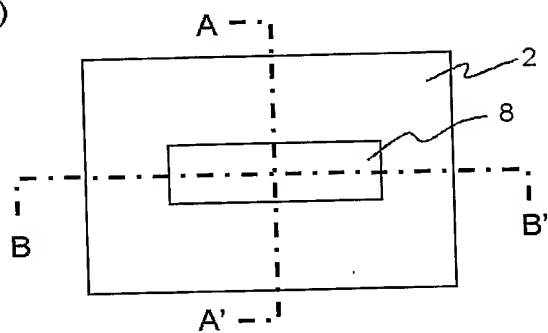
(a) A-A' 断面



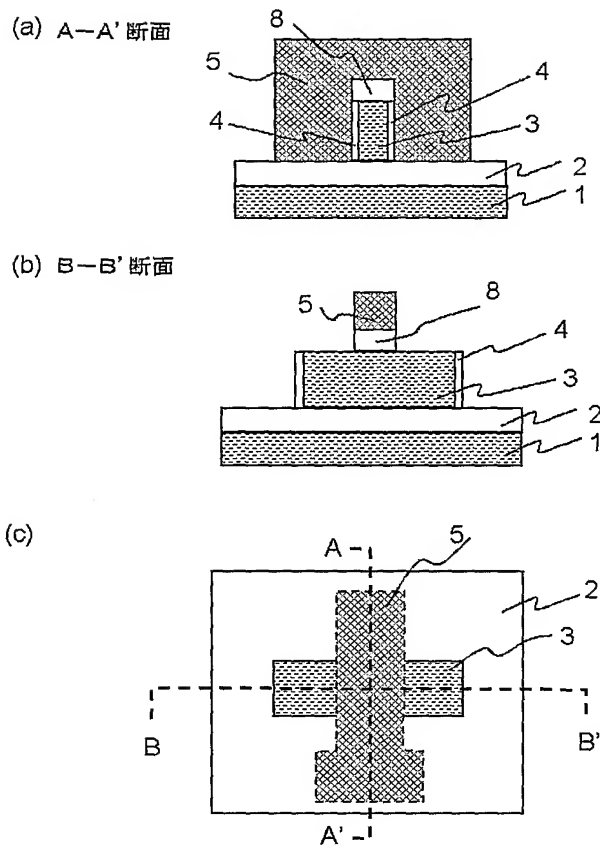
(b) B-B' 断面



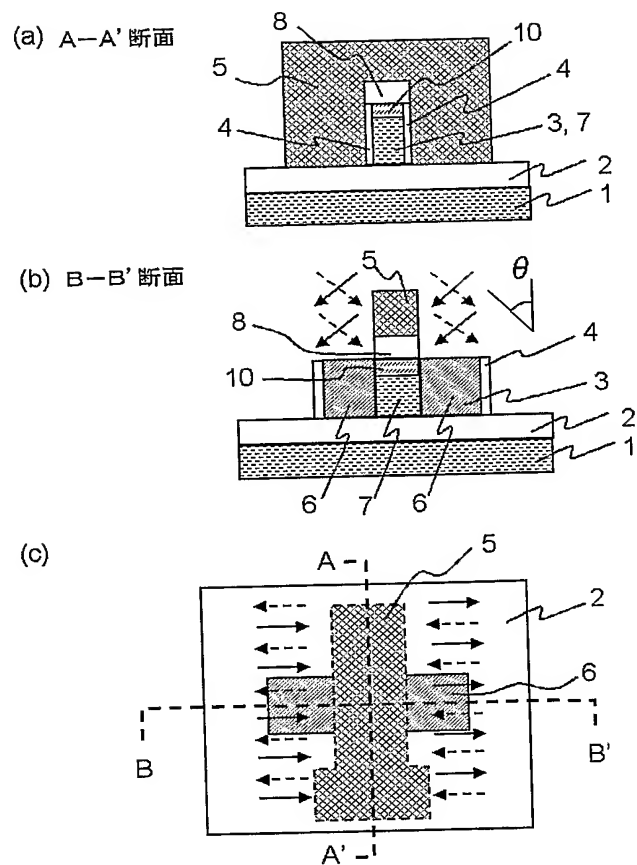
(c)



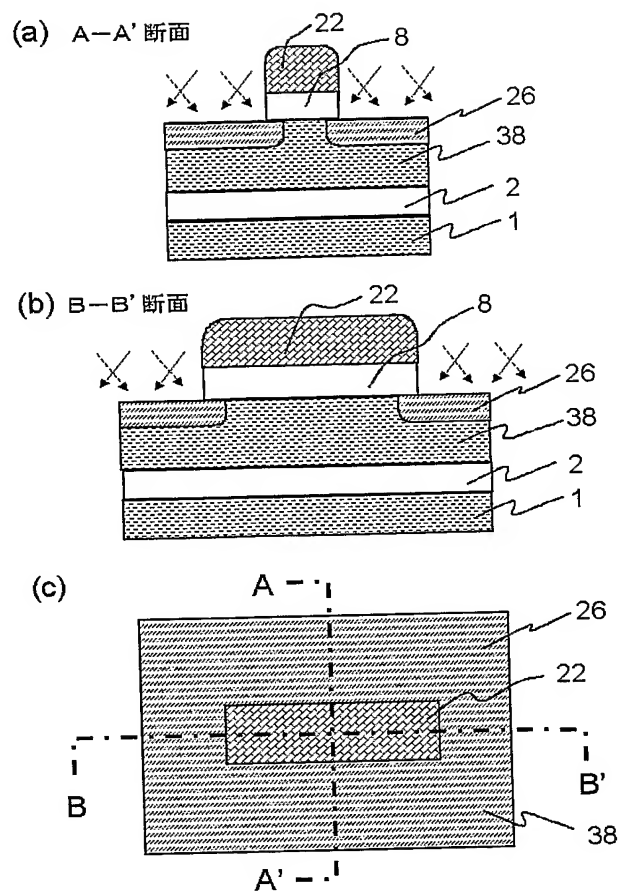
【図 46】



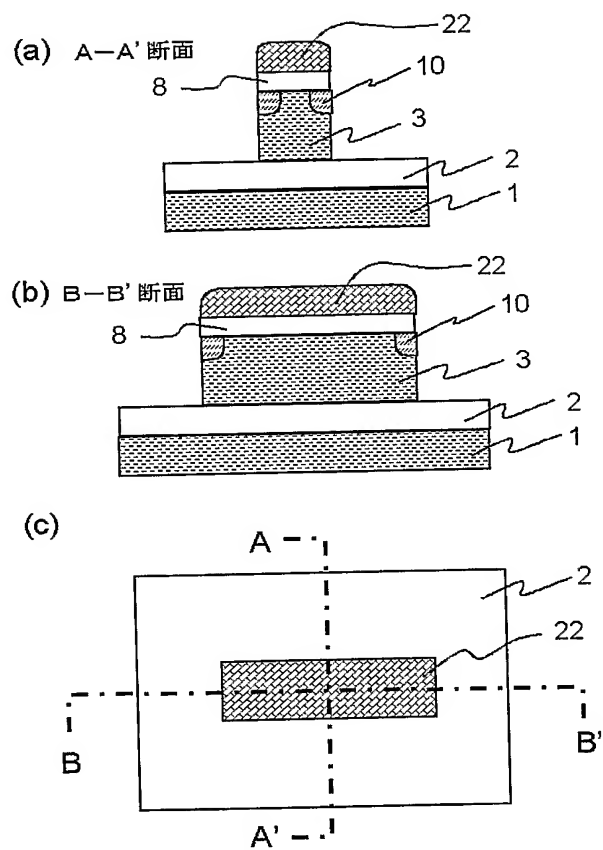
【図 47】



【図 48】

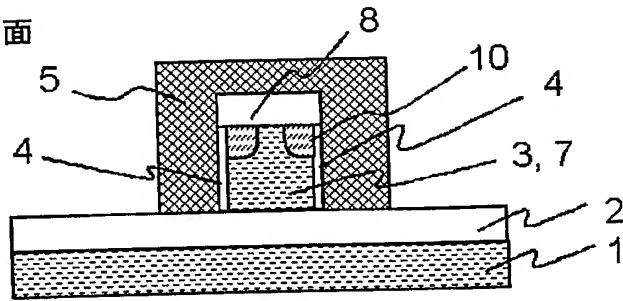


【図 49】

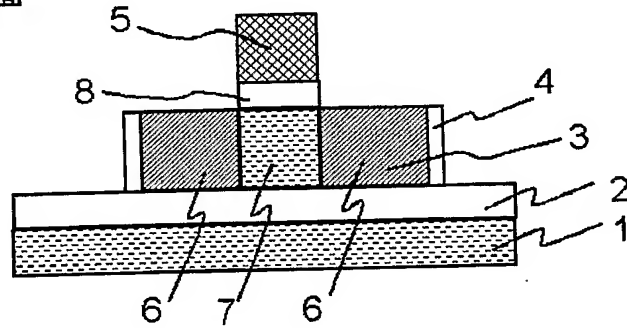


【図 50】

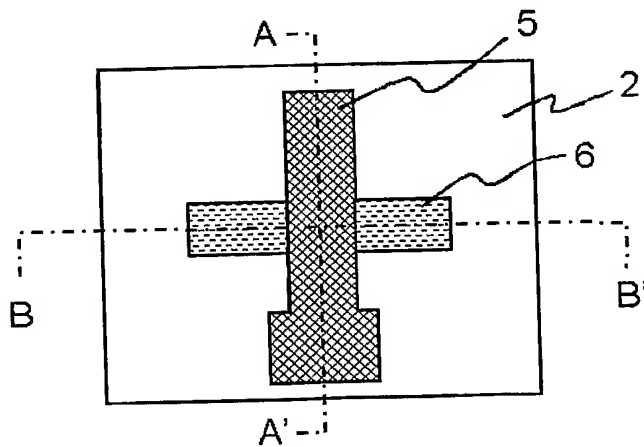
(a) A-A' 断面



(b) B-B' 断面

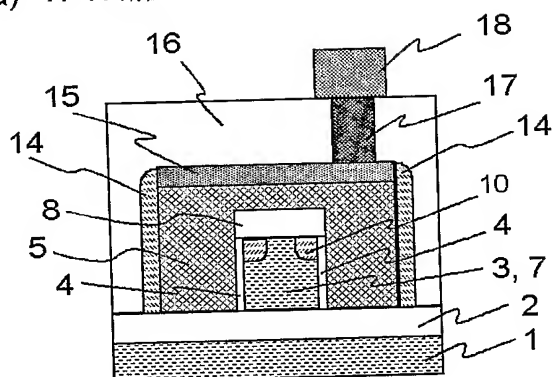


(c)

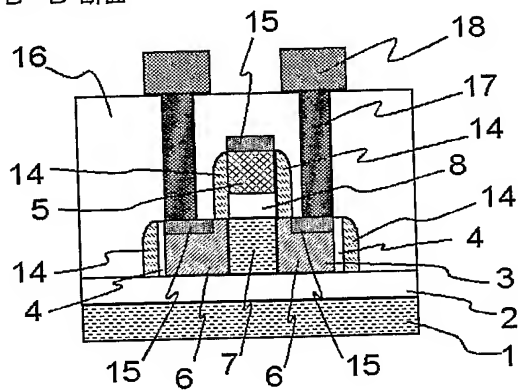


【図 51】

(a) A-A' 断面

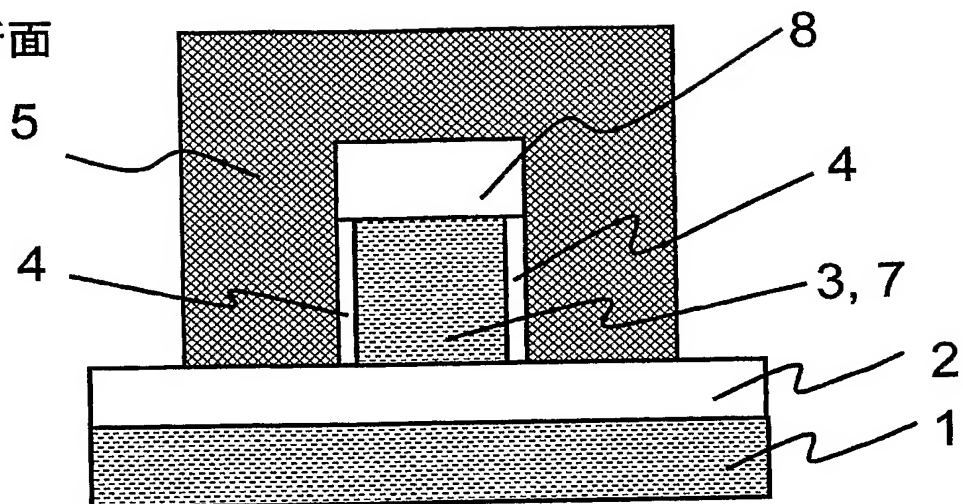


(b) B-B' 断面

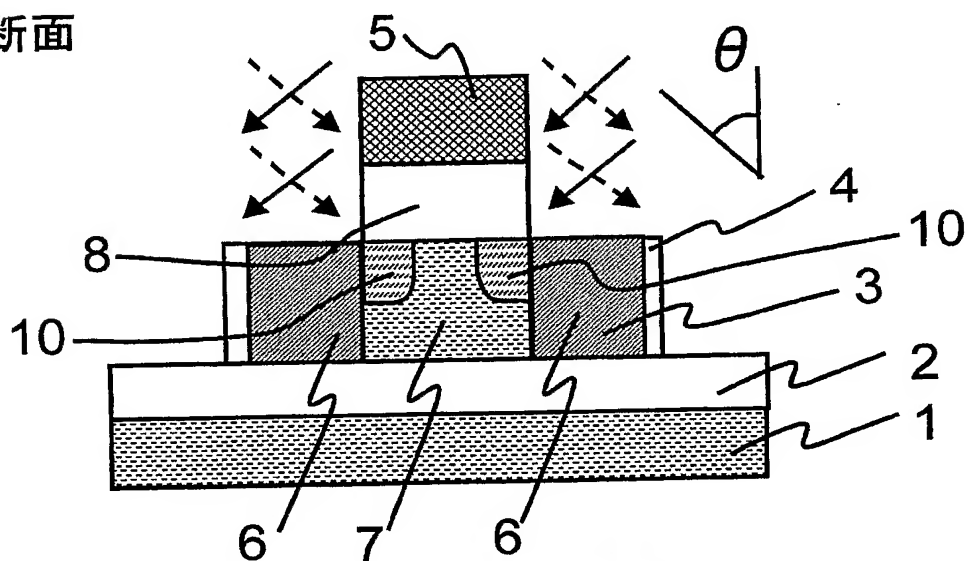


【図 5 2】

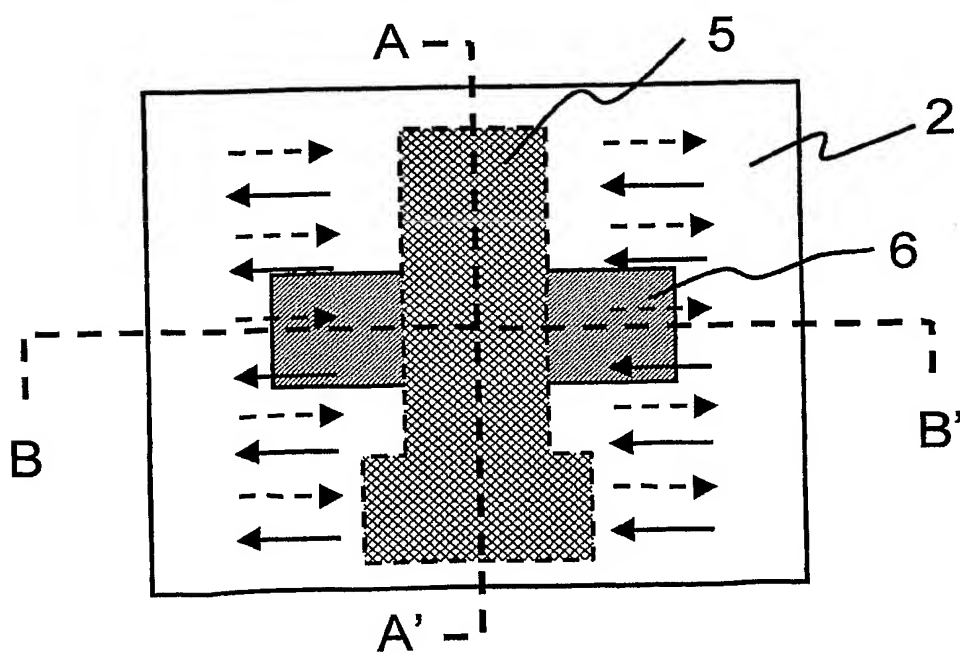
(a) A-A' 断面



(b) B-B' 断面

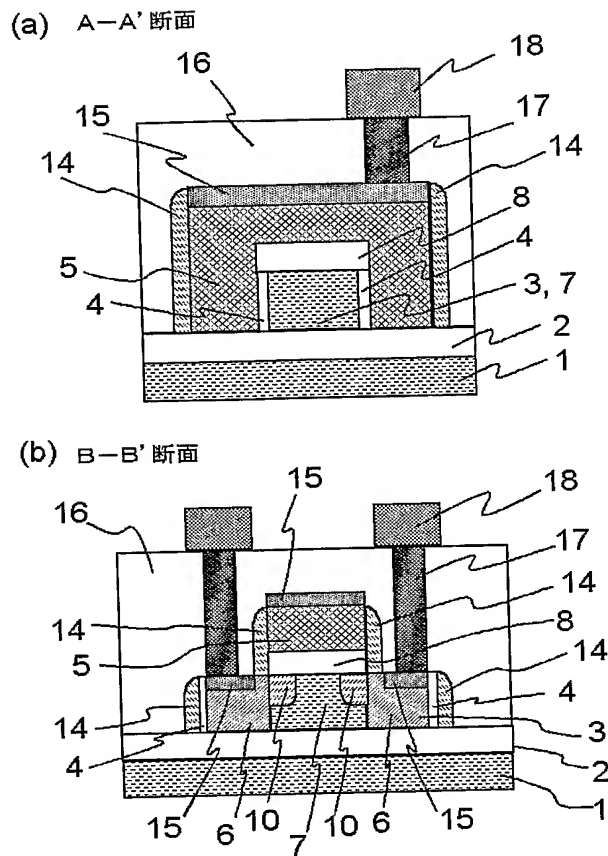


(c)

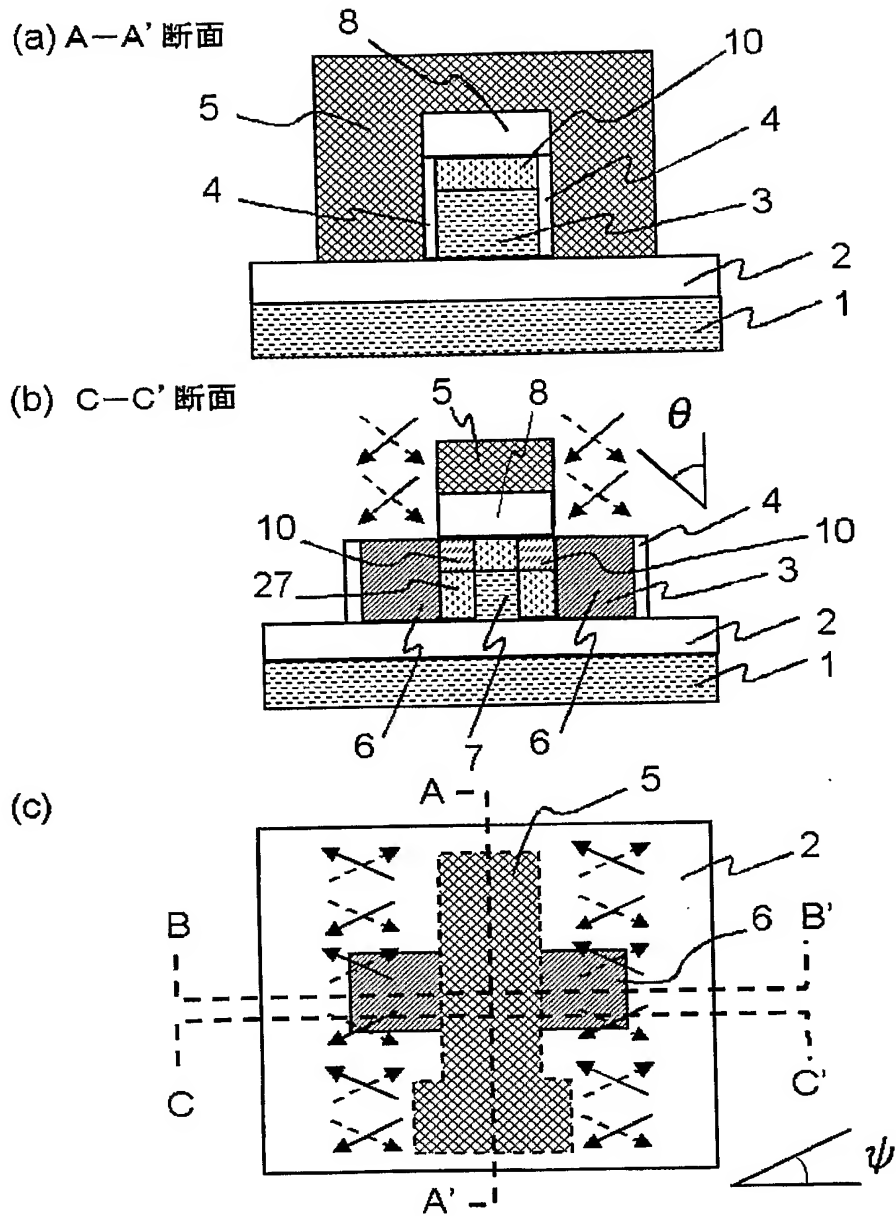




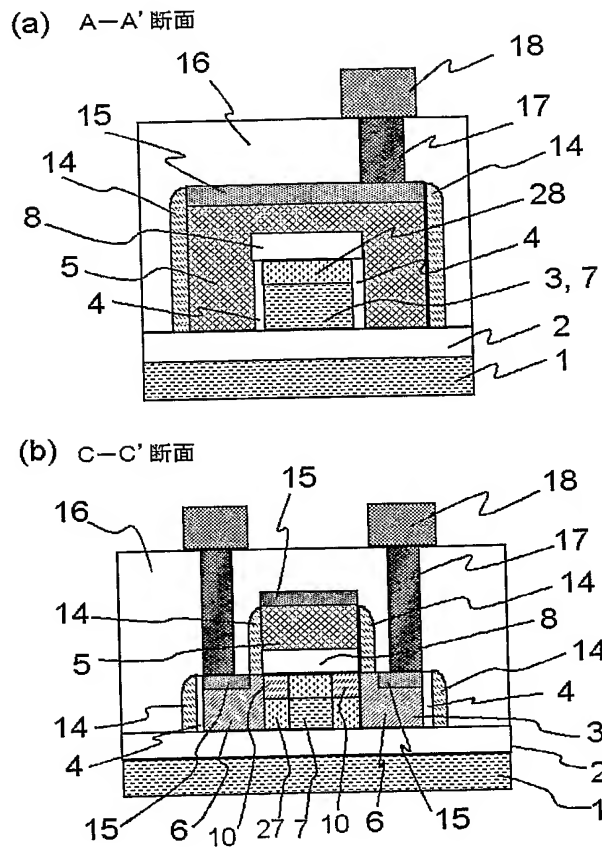
【図 53】



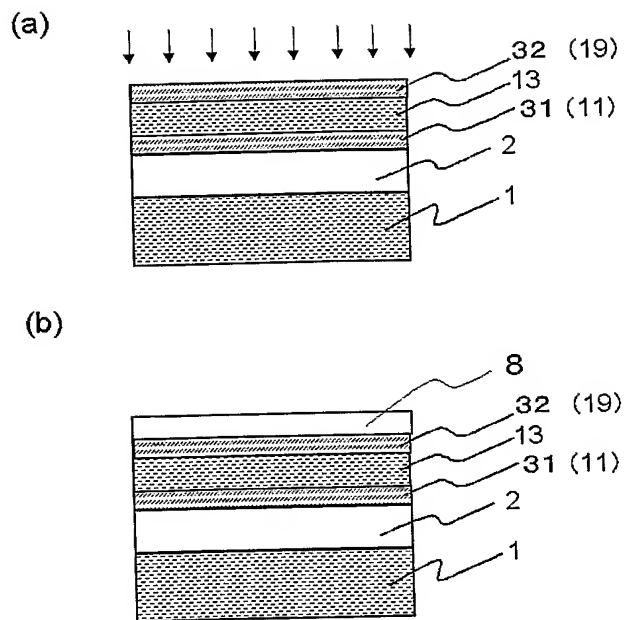
【図 54】



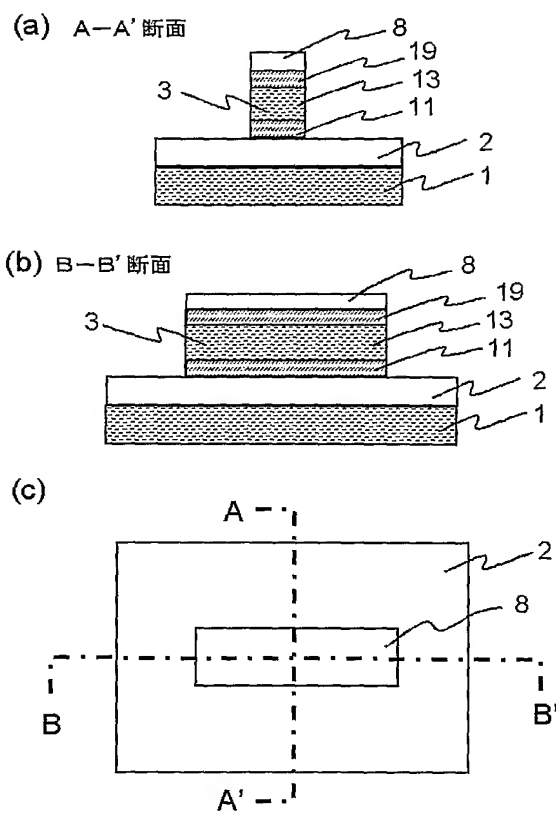
【図 55】



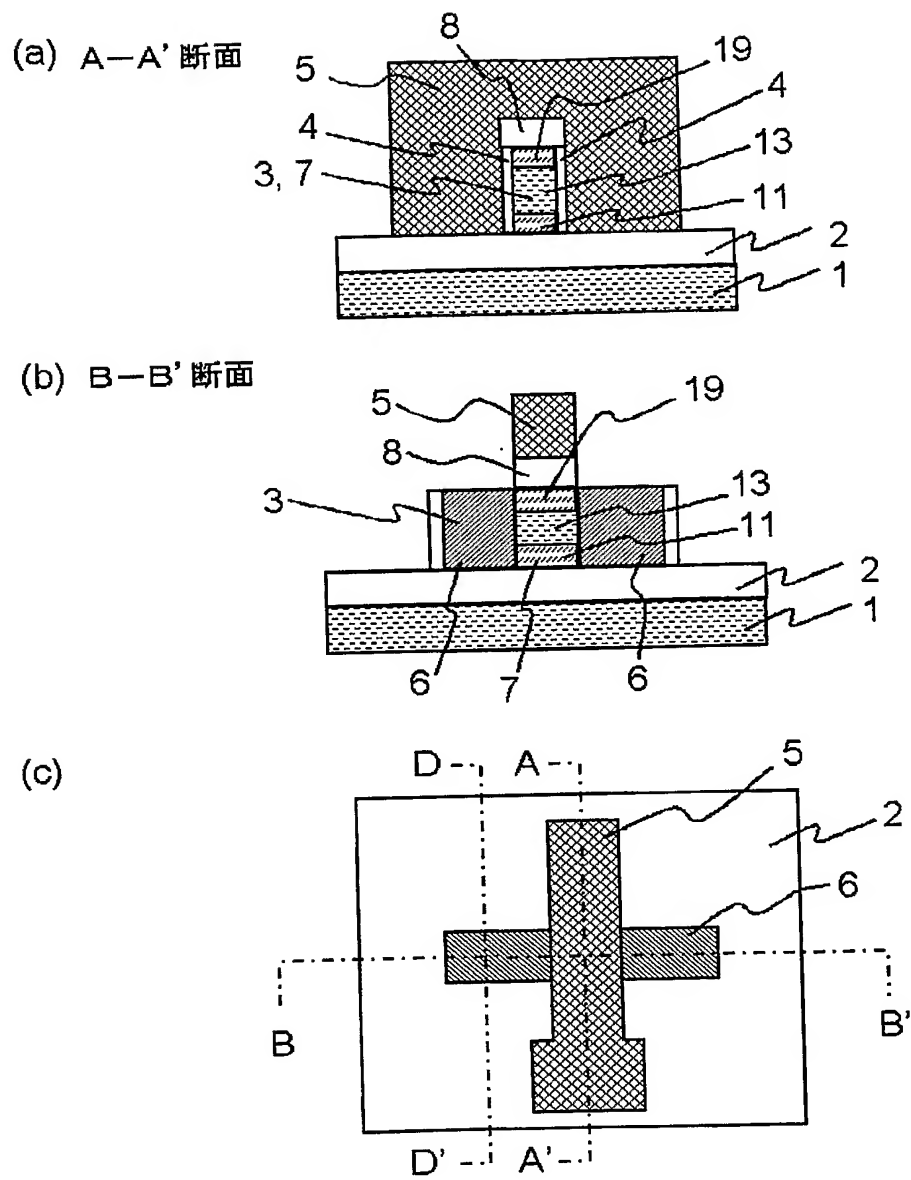
【図 56】



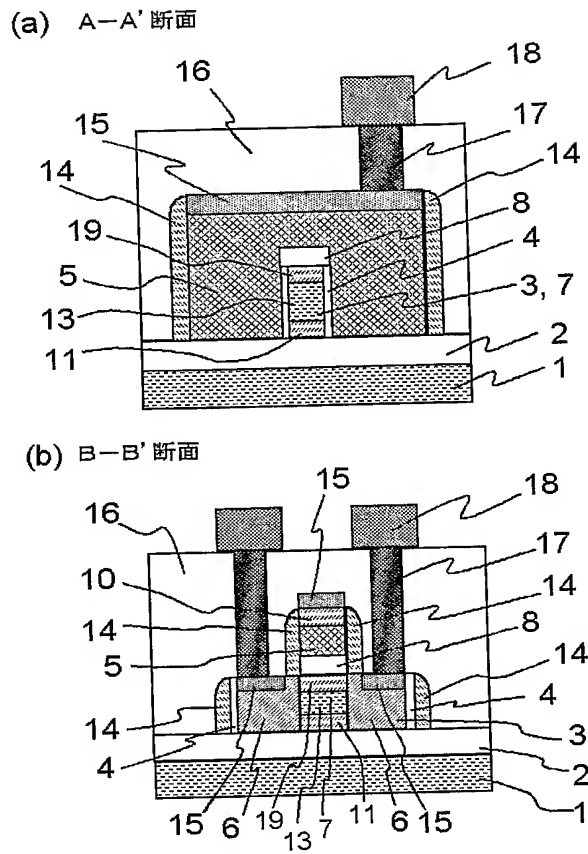
【図 57】



【図 58】

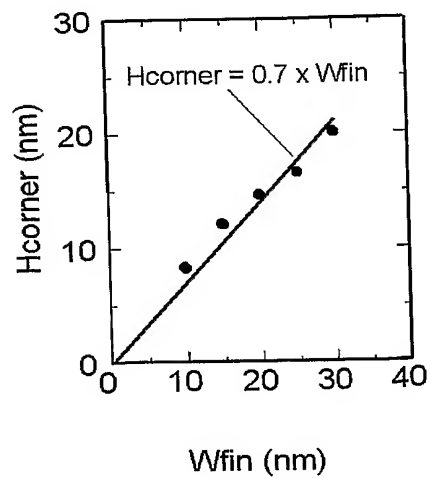


【図 59】

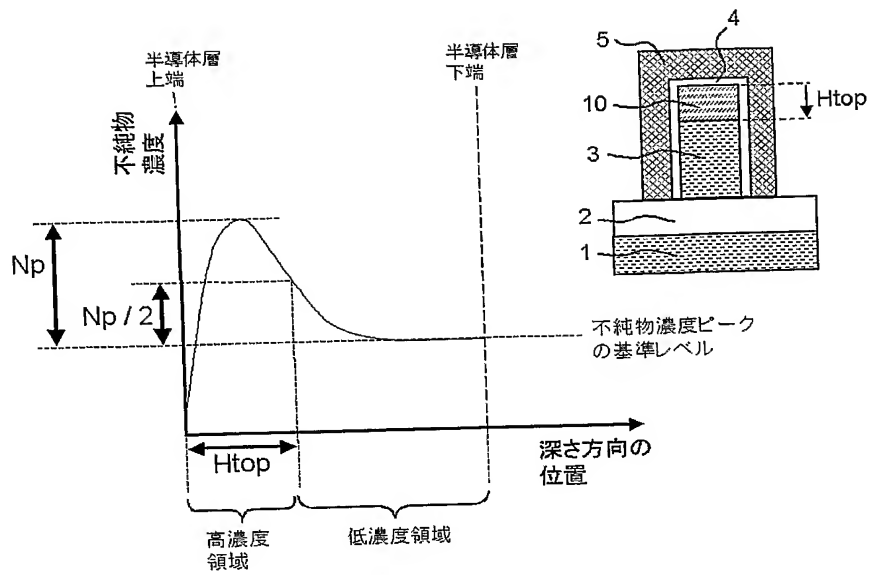


【図 60】

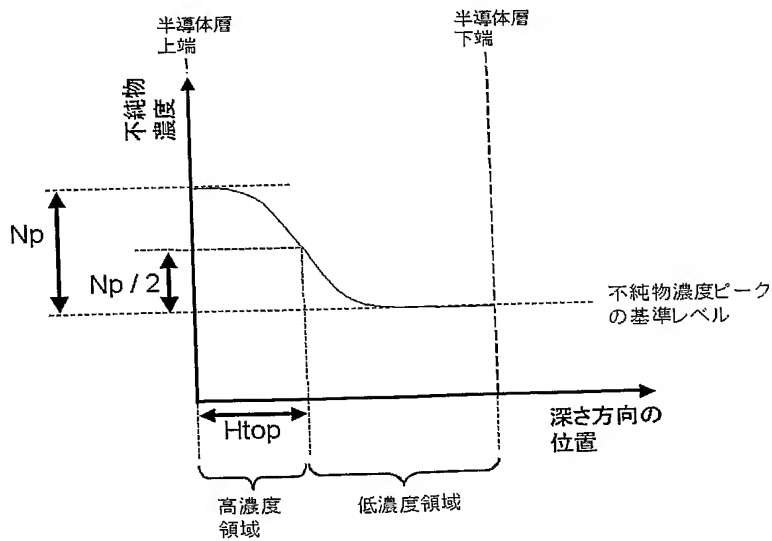
電界集中が起こる深さ(Hcorner)の  
Fin幅(Wfin)依存性



【図 6 1】

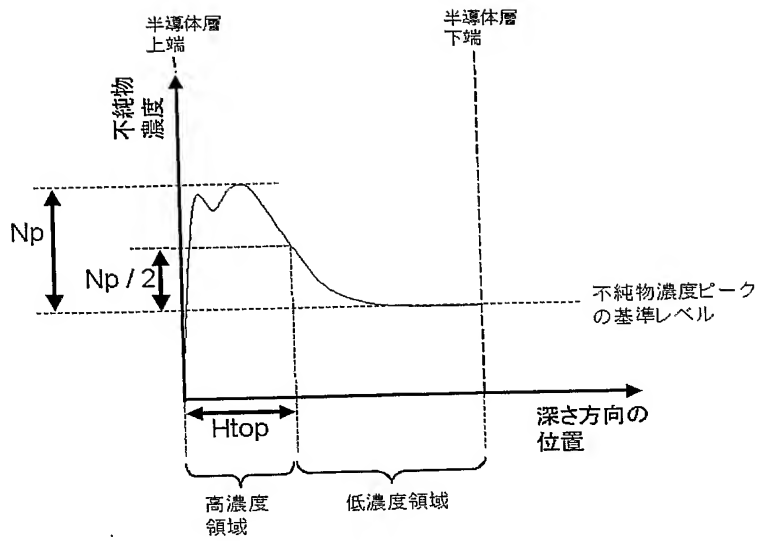


【図 6 2】

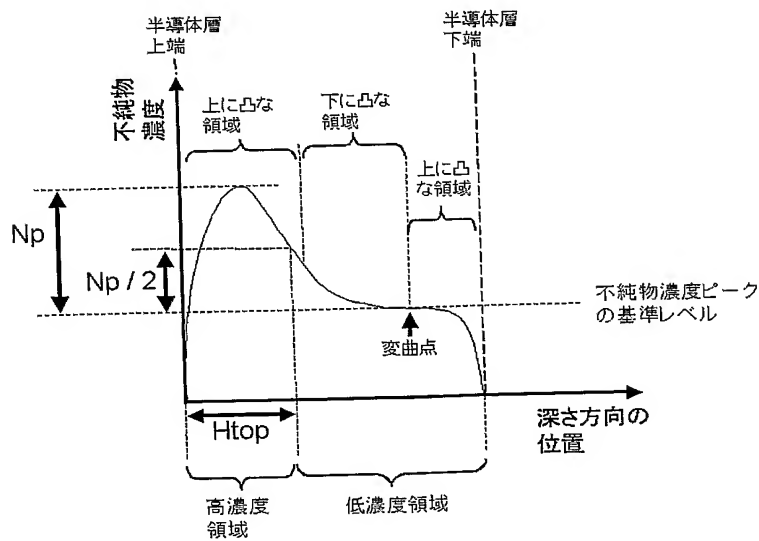




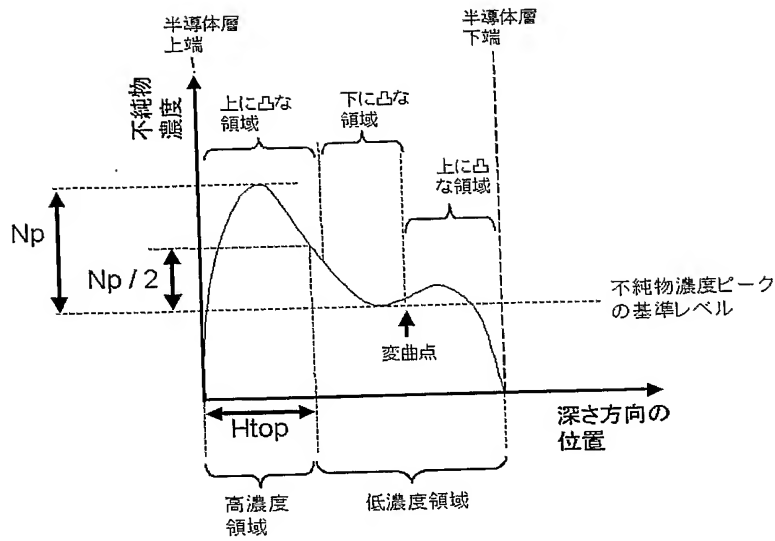
【図 6 3】



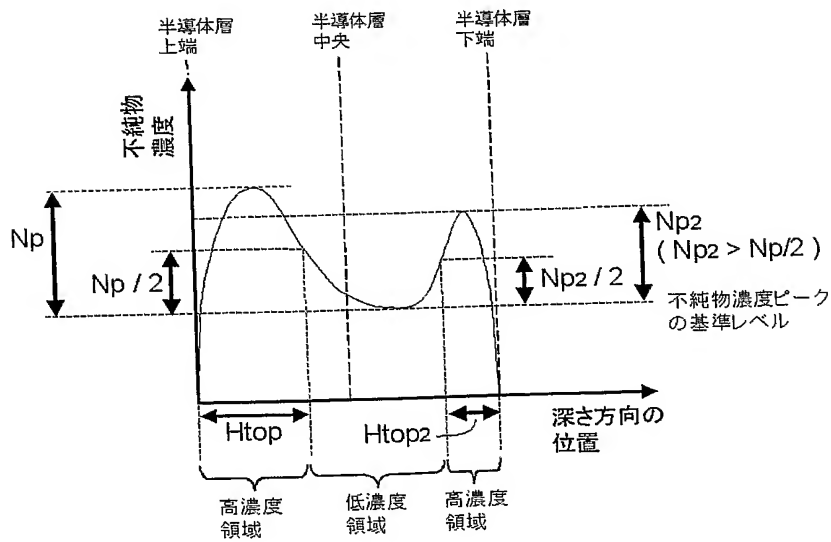
【図 6 4】



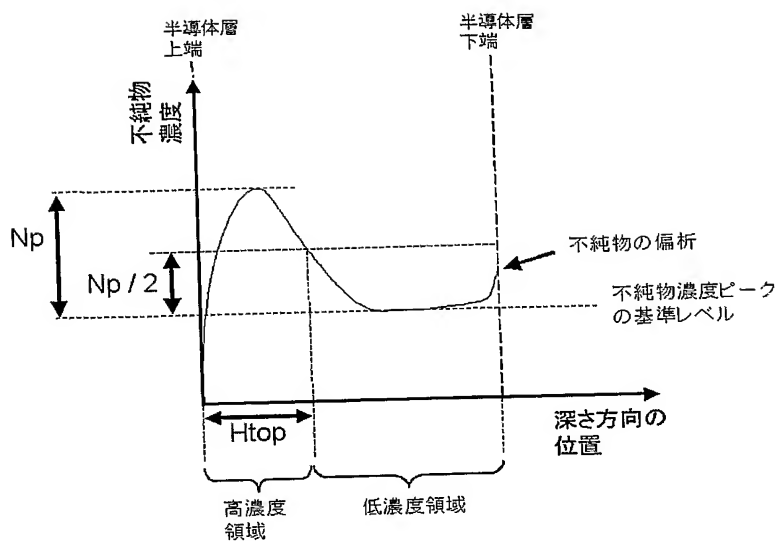
【図 65】



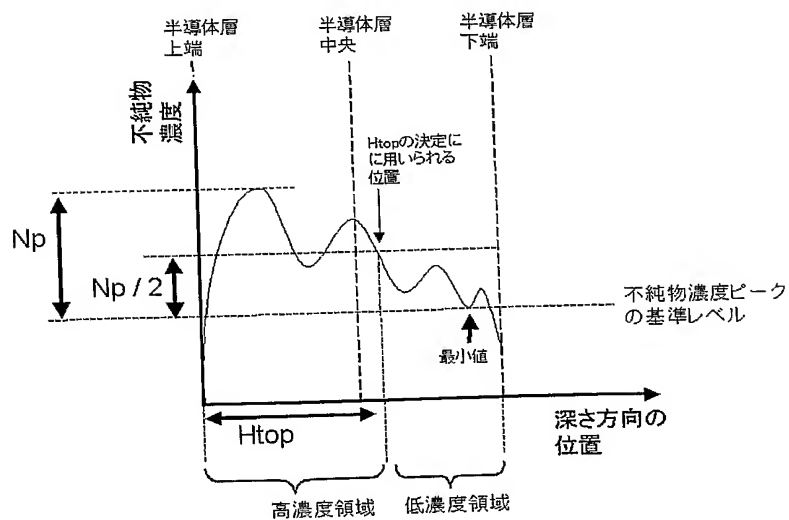
【図 66】



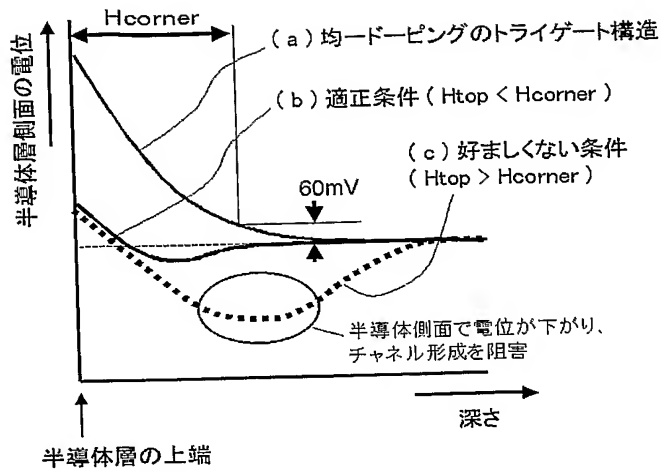
【図 67】



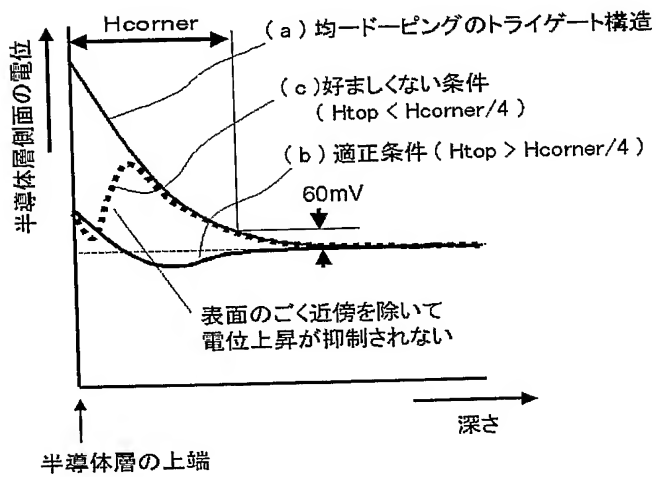
【図 68】



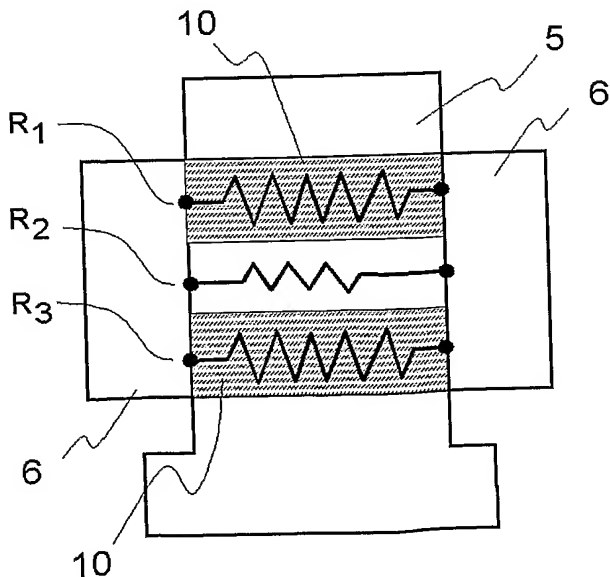
【図 69】



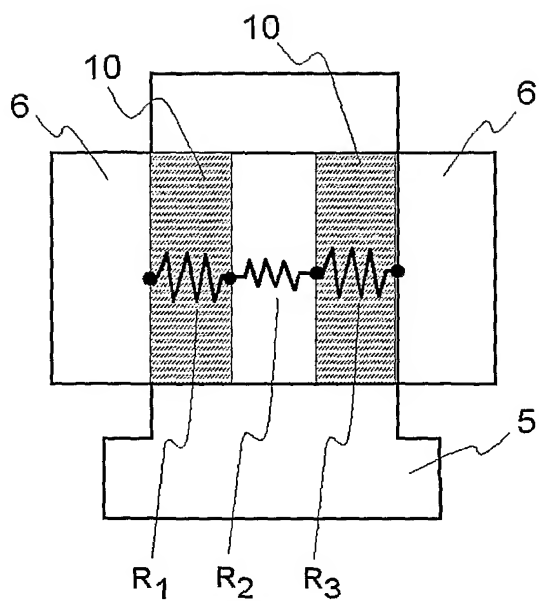
【図 70】



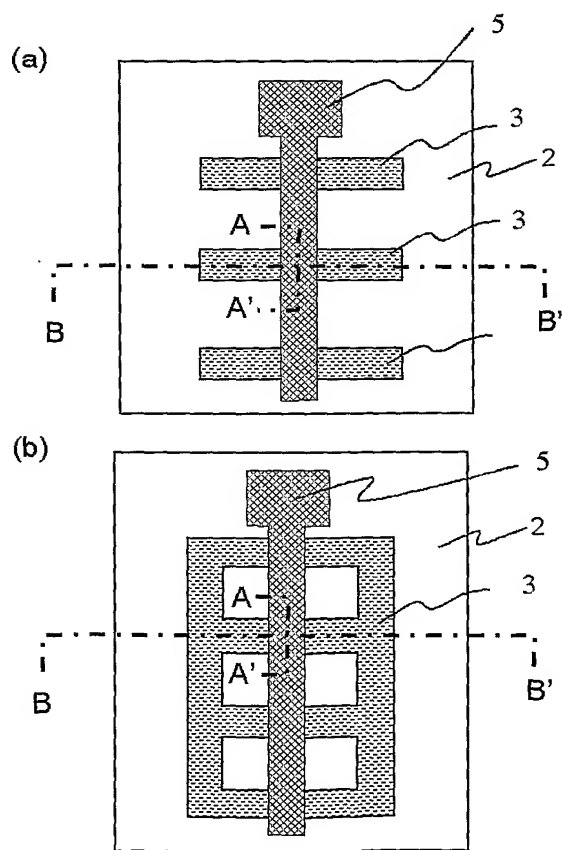
【図 71】



【図 7 2】

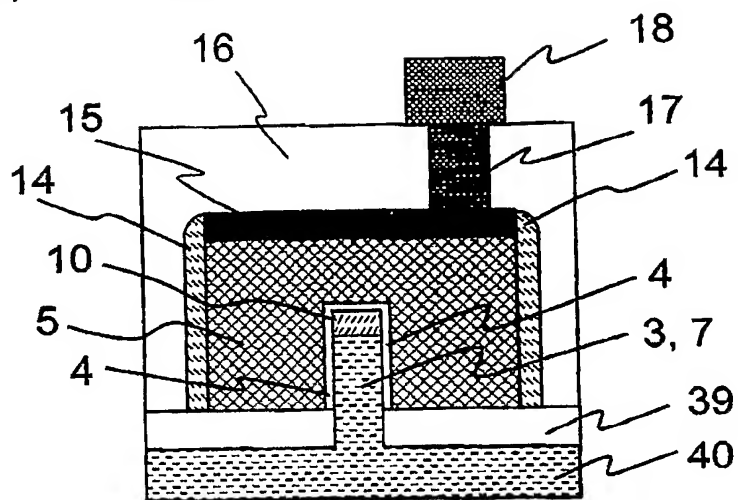


【図 7 3】

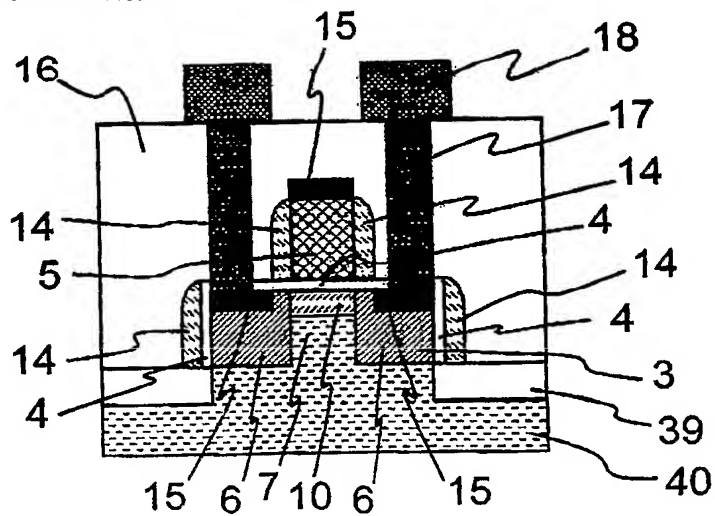


【図 7 4】

(a) A-A' 断面

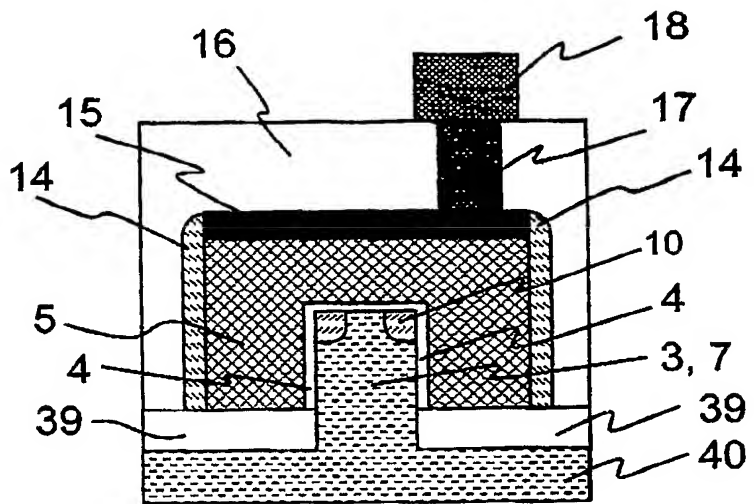


(b) B-B' 断面

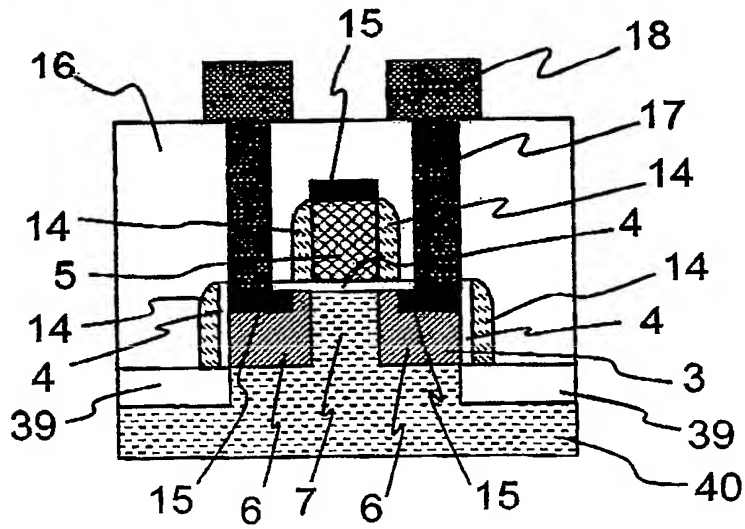


【図 75】

(a) A-A' 断面

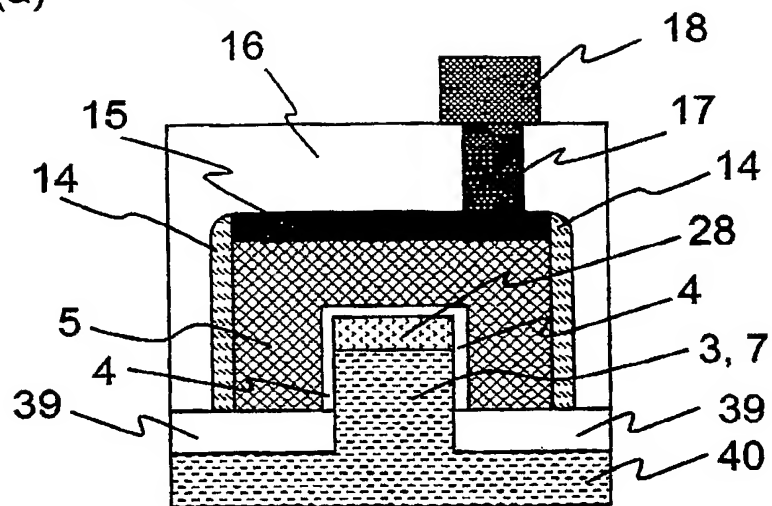


(b) B-B' 断面

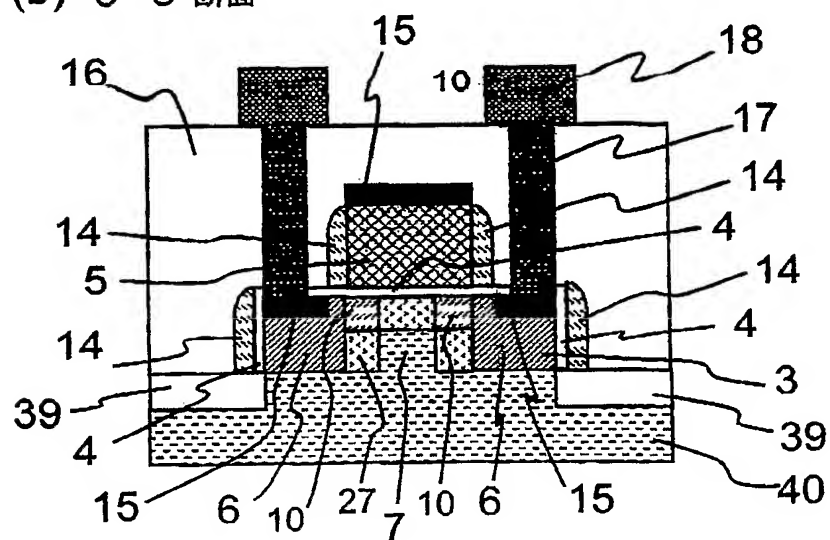


【图 7 6】

(a) A—A' 断面



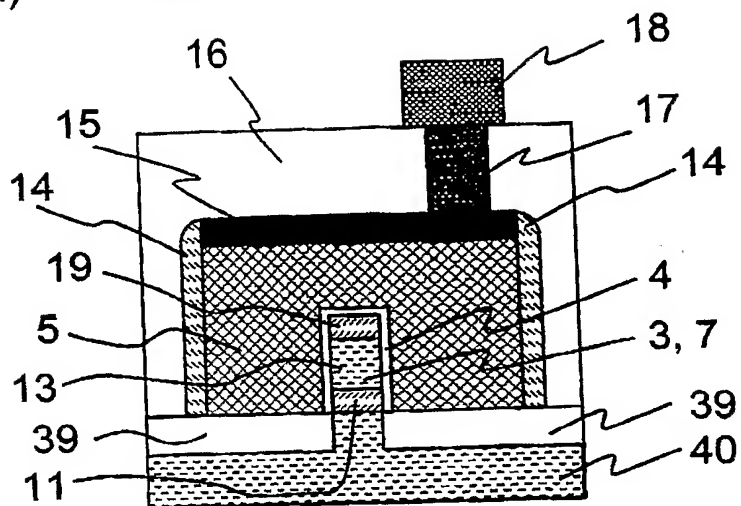
(b) C-C' 断面



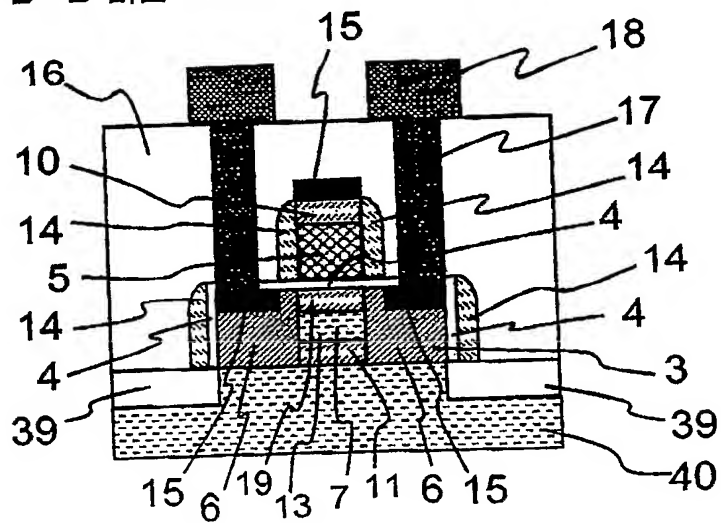


【図 77】

(a) A-A' 断面

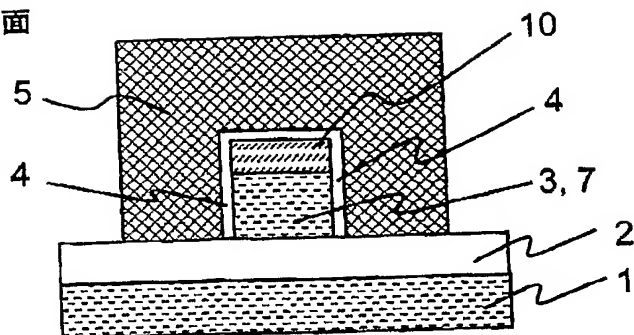


(b) B-B' 断面

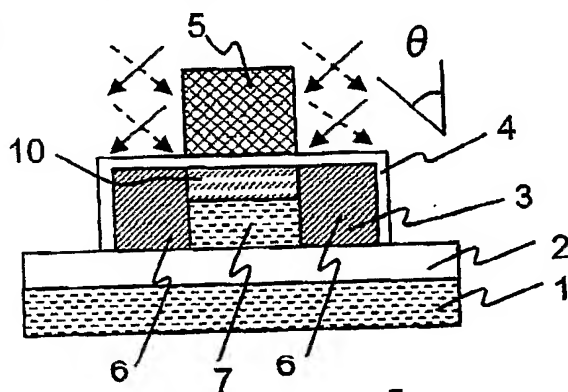


【図 78】

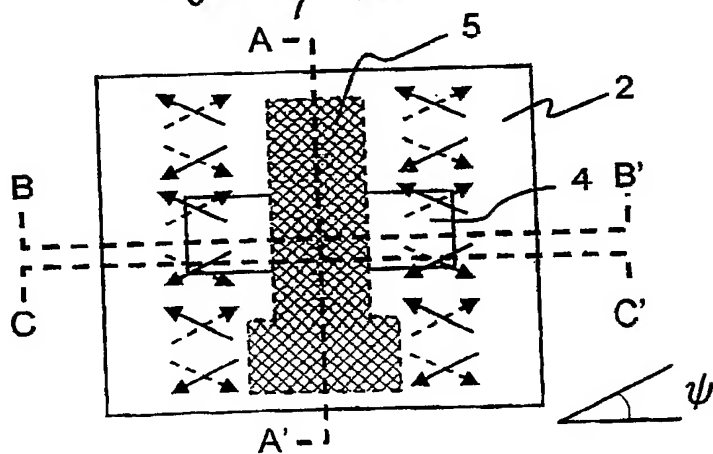
(a) A-A' 断面



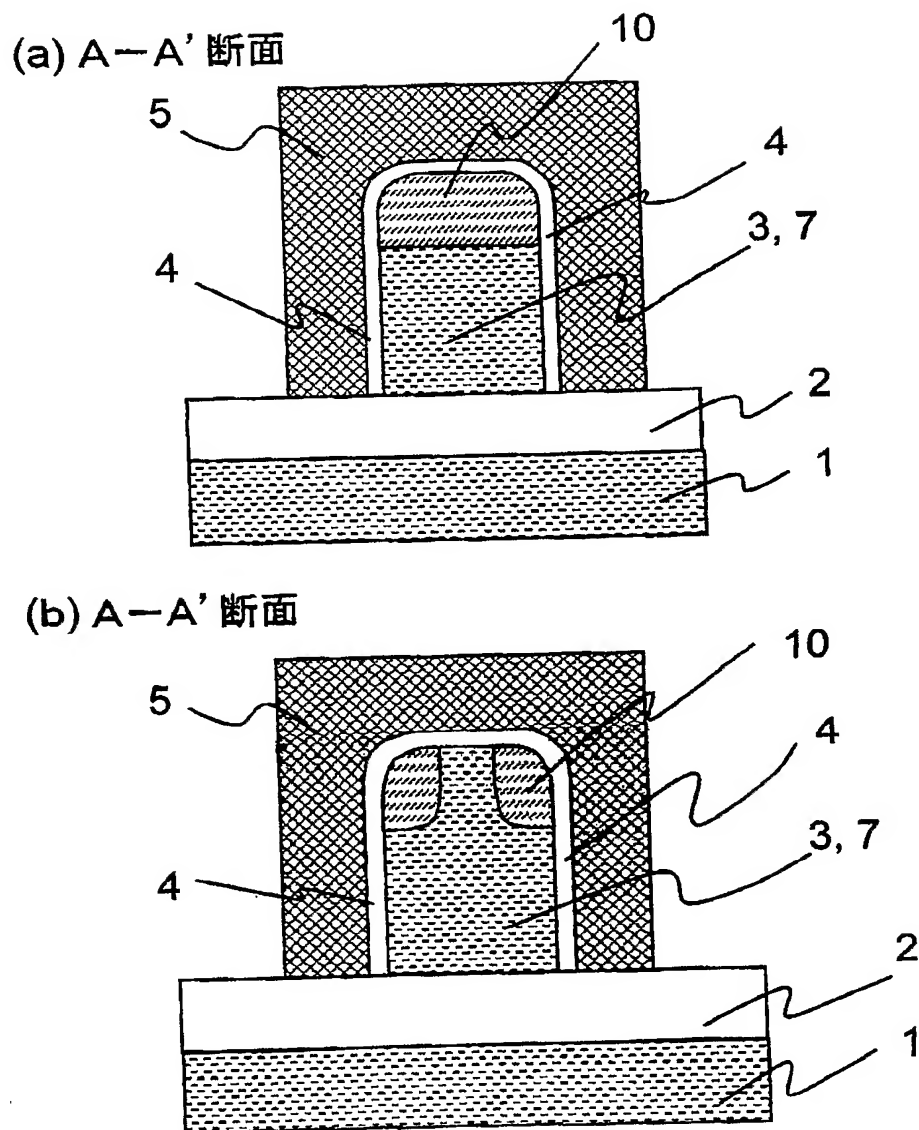
(b) C-C' 断面



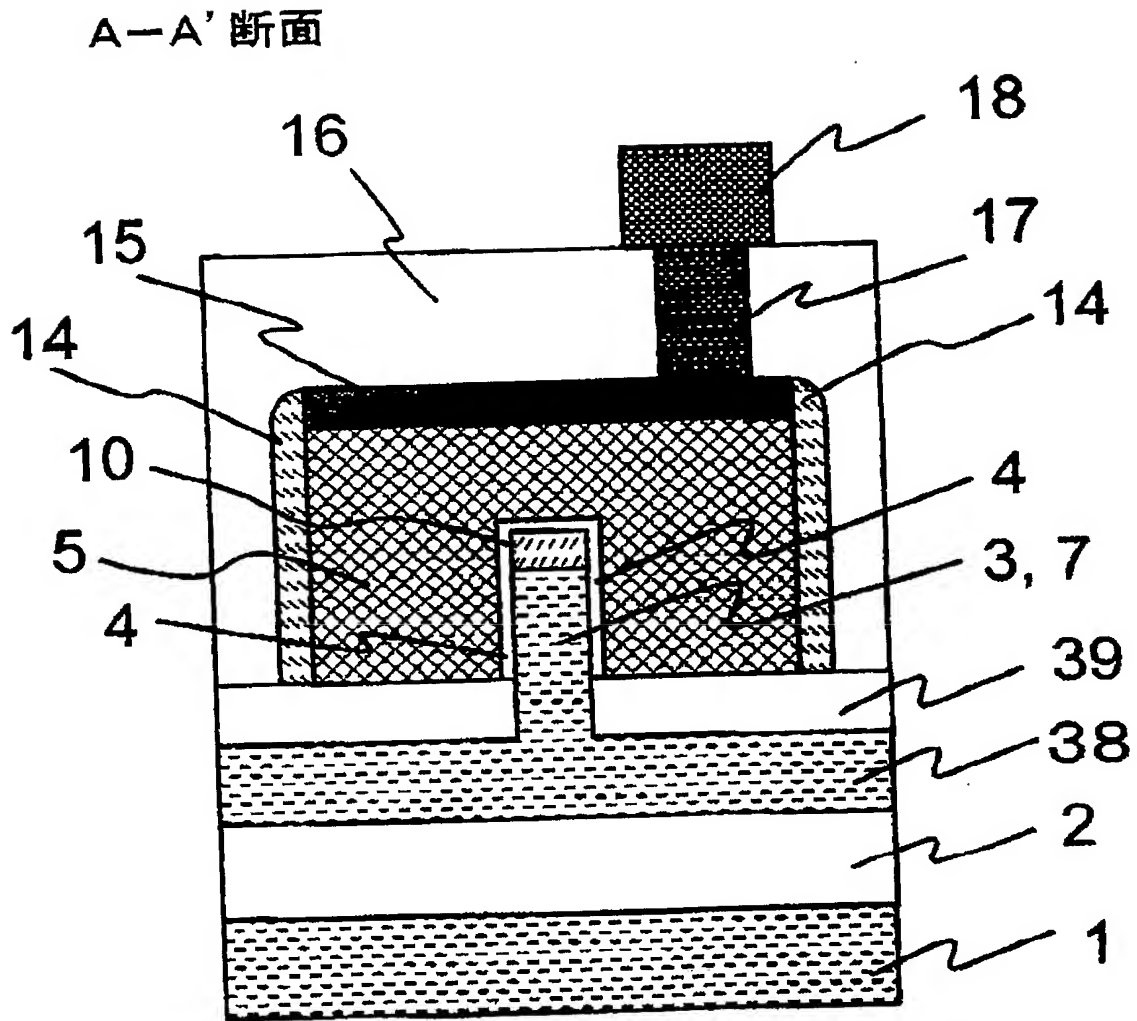
(c)



【図 79】

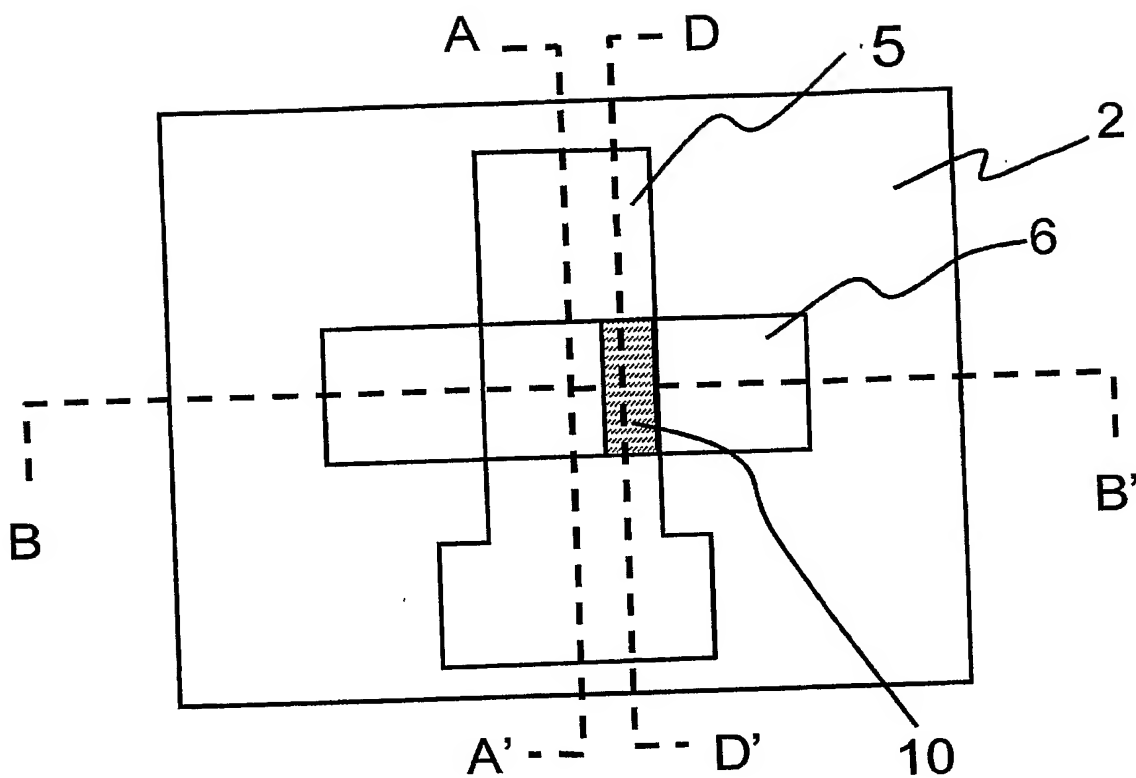


【図 80】

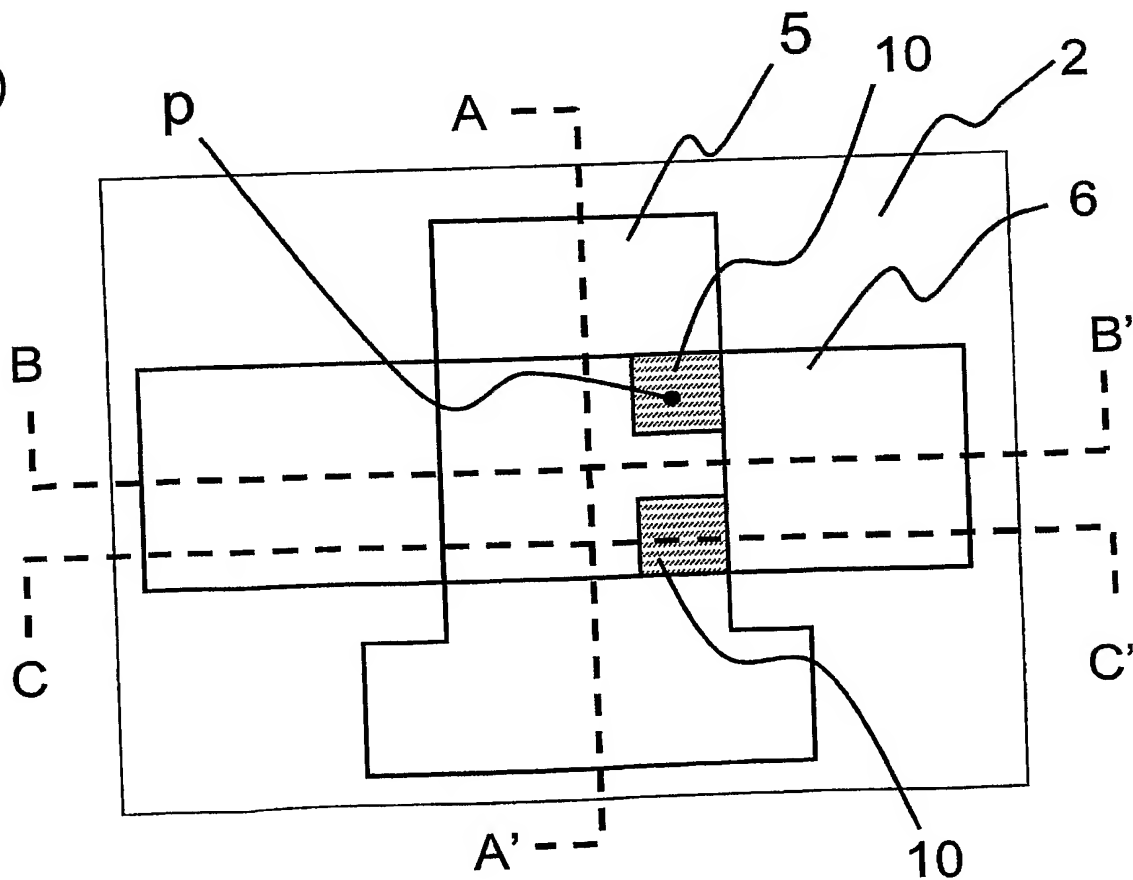


【図 81】

(a)

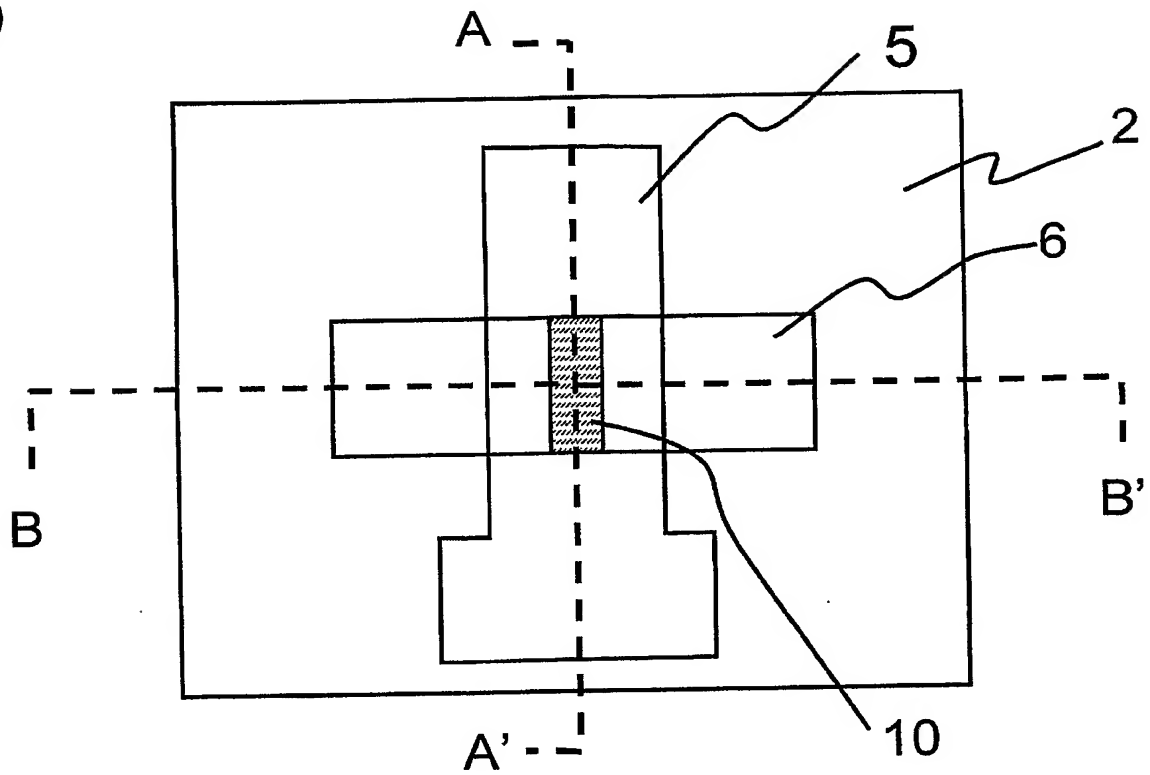


(b)

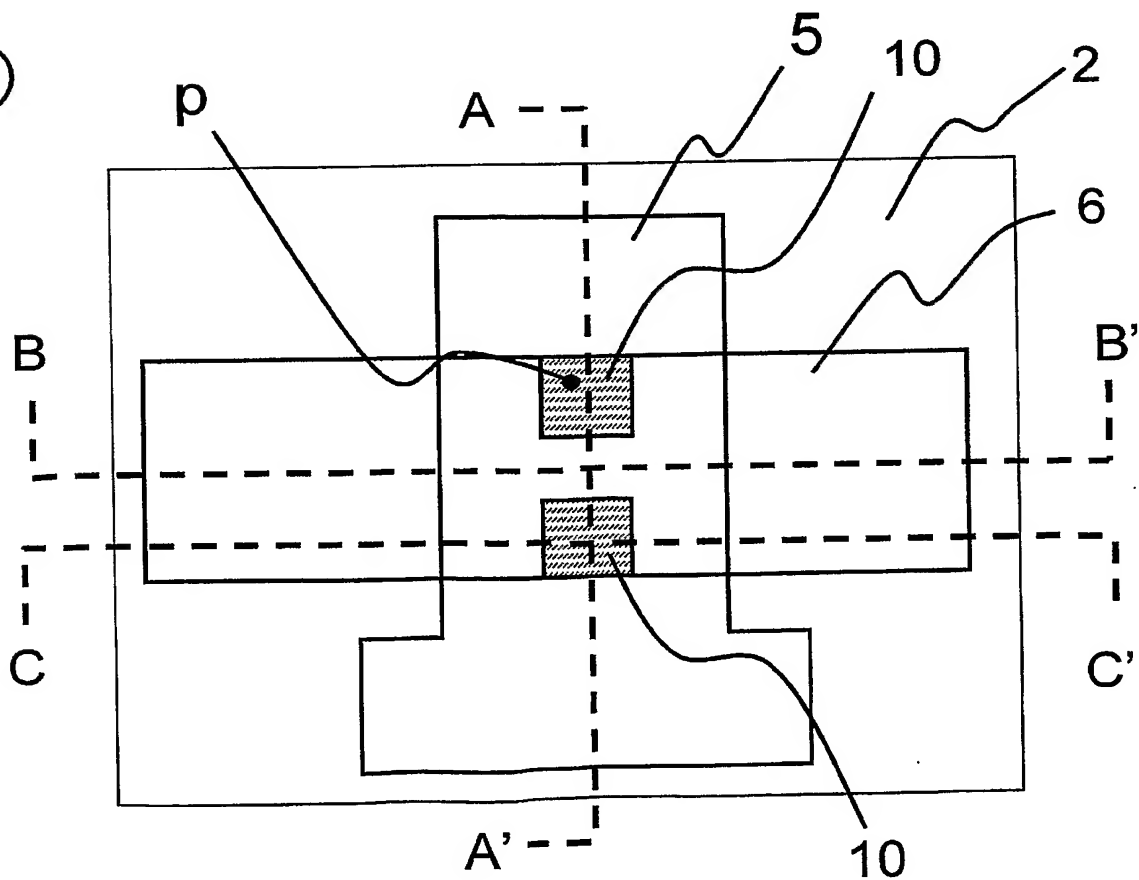


【図 82】

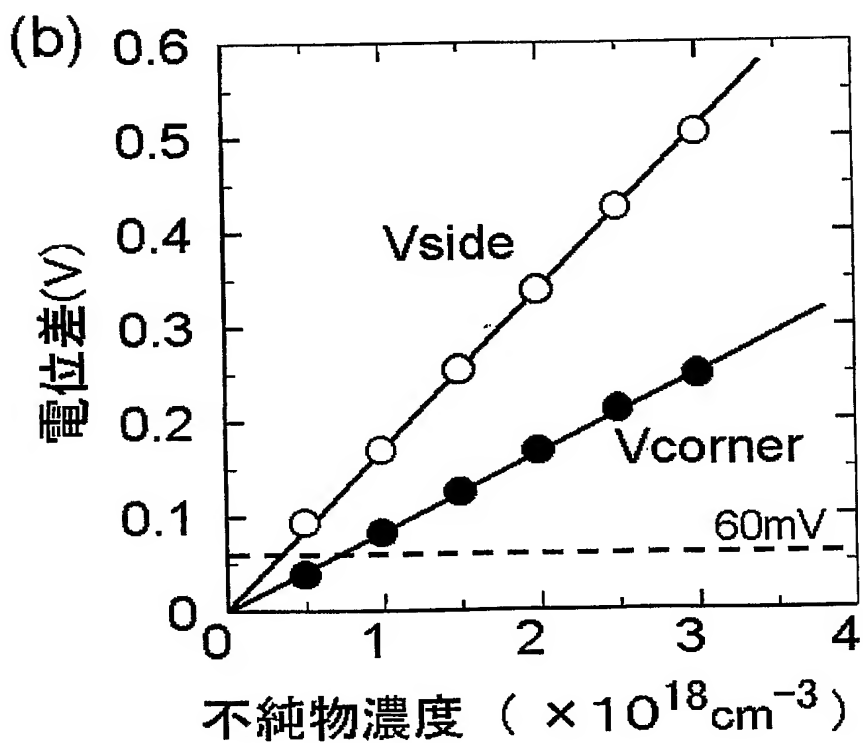
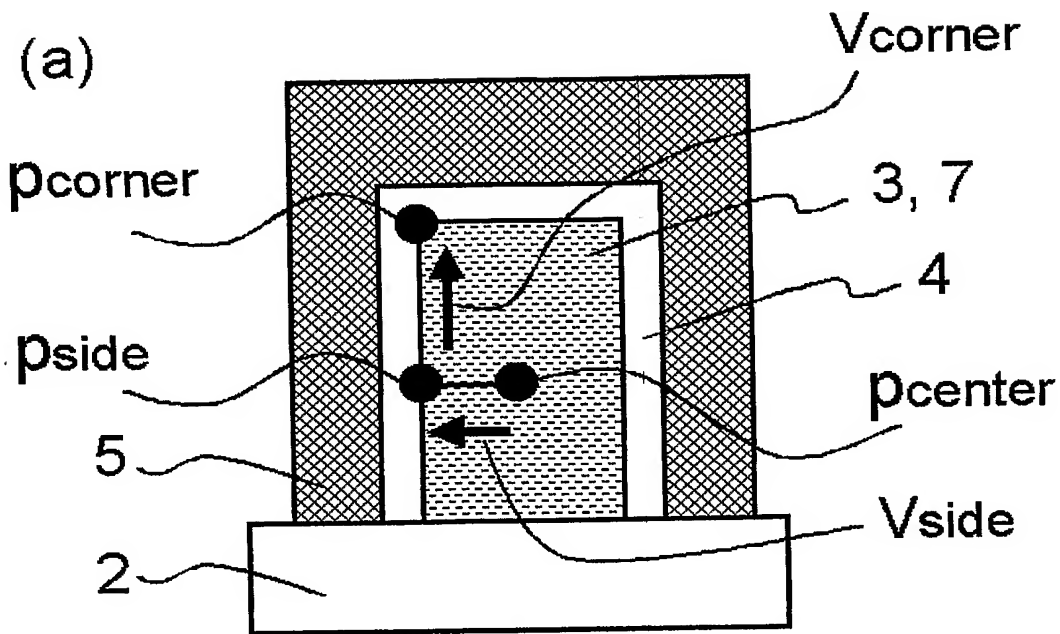
(a)



(b)



【図 83】



## 【書類名】 要約書

## 【要約】

【課題】 ドレイン電流を十分に確保しながら、基体平面から突起した半導体層の上部コーナー部における寄生トランジスタの形成を抑制して、素子特性が改善する。

【解決手段】 基体平面から突起した半導体層と、その両側面上に設けられたゲート電極と、ゲート電極と半導体層側面の間に介在するゲート絶縁膜と、第1導電型不純物が導入されたソース／ドレイン領域とを有し、前記半導体層は、ソース／ドレイン領域に挟まれた部分にチャネル形成領域を有し、チャネル形成領域における半導体層上部には、その下方部分より第2導電型不純物濃度が高いチャネル不純物濃度調整領域を有し、このチャネル不純物濃度調整領域は、ゲート電極に信号電圧を印加した動作状態において、当該チャネル不純物濃度調整領域における半導体層のゲート絶縁膜に相対する側面部分にチャネルが形成されることを特徴とする電界効果型トランジスタ。

【選択図】 図3



特願 2 0 0 4 - 0 2 4 7 2 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 4 2 3 7 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区芝五丁目7番1号

氏 名

日本電気株式会社